

TUGAS AKHIR

KL 1702

**ANALISA DINAMIS UNTUK RISER PADA
DRILLSHIP AKIBAT GERAKAN SURGE**



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	9-8-2000
Terima Dari	H
Agenda Prp.	21-1635

RSKe
627.98
Bud
a-1
2000

Disusun Oleh :

IRAWAN BUDIANTO

NRP. 4391.100.015

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2000



ANALISA DINAMIS UNTUK RISER PADA DRILLSHIP AKIBAT GERAKAN SURGE

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

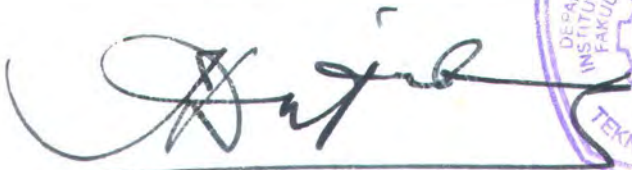
Surabaya

Surabaya, Pebruari 2000

Mengetahui/menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.)

NIP. 131 407 592

(Ir. Hartanta Tarigan, Ph.D.)

NIP. 131 651 416

TUGAS AKHIR



Bacalah! Dengan nama Tuhanmu
yang menciptakan,
Menciptakan manusia dari segumpal darah.
Bacalah! Tuhanmulah yang paling mulia.
Yang mengajar manusia dengan kalam,
Mengajar manusia apa yang tiada ia ketahui.

(Q.S. Al 'Alaq: 1-5)

TUGAS AKHIR



ABSTRAK

Cipta Karya

ABSTRAK

Selama beroperasi, drillship selalu bergerak mengikuti arah gelombang dan arus. Gerak tersebut diikuti oleh ujung bagian atas riser yang menempel pada struktur, sedangkan ujung bagian yang lain tetap pada suatu titik menempel di seabed. Gerak horisontal struktur dibatasi oleh suatu sistem mooring sampai harga maksimum yang diijinkan yang besarnya 5% kedalaman. Untuk variasi top tension dari harga 444810 N, 889640 N, 1334460 N, 1779280 N, pengaruhnya terhadap displasemen untuk setiap variasi tidak terlalu besar sedangkan pengaruh variasi top tension terhadap tegangan hampir tidak ada. Untuk variasi berat jenis lumpur dari 800.915 Kg/m³, 1121.281 Kg/m³, 1442.768 Kg/m³, 1762.013 Kg/m³, pengaruhnya terhadap displasemen untuk setiap variasi tidak terlalu besar dan terhadap tegangan tidak ada pengaruhnya.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim,

Alhamdulillah segala puji syukur kehadiran Allah SWT dan atas kehendak Allah jualah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **Analisa Dinamis Untuk Riser Pada Drillship Akibat Gerakan Surge**.

Sebagai seorang manusia, penulis menyadari akan segala kelemahan dan keterbatasan diri ini. Oleh karena itu tiada suatu pun yang bisa penulis berikan kepada siapa saja yang ikut berperan dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir saya ini kecuali ucapan terima kasih setulus-tulusnya, terutama bagi:

1. Ayah dan ibu tercinta, semoga Allah mengampuni dosa-dosanya, menerima segala amal ibadahnya, dan menempatkannya ditempat yang mulia disisi-Nya.
2. Bapak Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc. dan Ir. Hartanta tarigan, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang dengan kesabarannya dan ketidakbosanannya senantiasa membimbing dan mengarahkan penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono, M.Sc. dan Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan beserta seluruh staf pengajar dan Mas Pri beserta seluruh staf administrasi dll.
4. Karyawan dan seluruh staf perpustakaan pusat dan Ruang baca FTK.
5. Kakak-kakaku dan adik-adikku semuanya, semoga Allah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga kita bisa sukses dunia dan akhirat.
6. Teman-teman Kelautan angkatan '90,'91, '92, 93 dan '94 terutama Eko Budi tjahjono ('met sukses), Willy, Budi Dharmawan, Daryono, Khamid, Paul,

Sayang dan yang lain-lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu-satu.

7. Seorang gadis yang sangat berarti dalam hidup penulis yang selama ini dengan sabar dan setia selalu memberi dorongan, semangat dan bantuan lainnya.
8. Teman-teman di Manukan yang selalu memberi dorongan terutama Hartono, Indra Daulay, Diah, Aziz dan yang lainnya
9. Siapa saja yang tidak dapat penulis sebutkan disini, dengan tanpa mengurangi rasa hormat.

Hanya untaian do'a semoga Allah membalas segala kebaikan dengan kebaikan yang berlipat ganda yang bisa penulis berikan.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik untuk penyempurnaan di masa mendatang sangat penulis harapkan.

Akhirnya semoga tugas akhir ini memberikan manfa'at bagi para pembaca sekalian.....

Surabaya, Februari 2000

Irawan Budianto

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	vii

BAB I	PENDAHULUAN.....	I - 1
	I.1. Latar Belakang Masalah.....	I - 1
	I.2. Ruang Lingkup Permasalahan.....	I - 4
	I.3. Batasan Masalah.....	I - 5
	I.4. Tujuan.....	I - 6
	I.5. Manfaat.....	I - 6
	I.6. Metodologi Penulisan.....	I - 7

BAB II.	DASAR TEORI.....	II - 1
	II.1. Teori Gelombang.....	II - 1
	II.1.1. Teori Gelombang Umum.....	II - 2
	II.1.2. Teori Gelombang Stokes orde dua.....	II - 5
	II.2. Gaya Gelombang pada Struktur Ramping.....	II - 12
	II.2.1. Formulasi Gaya Gelombang.....	II - 12
	II.2.2. Persamaan Morisson.....	II - 15
	II.3. Teori Lenturan Balok.....	II - 18
	II.4. Teori Gerak Horisontal Maksimum.....	II - 20
	II.5. Metode Wilson – θ	II - 21

BAB III.	FORMULASI GERAKAN RISER.....	III - 1
	III.1. Persamaan Gerak Lateral Riser Statis.....	III - 1
	III.2. Persamaan Gerak Lateral Riser Dinamis.....	III - 4

BAB IV.	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	IV – 1
IV.1.	Pendekatan dengan Metode Elemen Hingga.....	IV – 2
IV.2.	Pendekatan dengan Program Komputer.....	IV – 6
IV.3.	Analisa Hasil Perhitungan Komputer.....	IV – 8
IV.3.1.	Analisa Hasil Perhitungan untuk data masukan	
	Bervariasi terhadap top tension.....	IV – 9
IV.3.1.1.	Displasemen.....	IV – 10
IV.3.1.2.	Tegangan.....	IV – 10
IV.3.2.	Analisa Hasil Perhitungan untuk data masukan	
	Bervariasi terhadap berat jenis lumpur.....	IV – 10
IV.3.2.1.	Displasemen.....	IV – 11
IV.3.2.2.	Tegangan.....	IV – 11
IV.3.3.	Analisa Hasil Perhitungan untuk data masukan	
	Bervariasi terhadap perpindahan statis.....	IV – 14
IV.3.3.1.	Displasemen.....	IV – 14
IV.3.3.2.	Tegangan.....	IV – 16
 BAB V.	 KESIMPULAN DAN SARAN.....	 V – 1
V.1.	Kesimpulan.....	V – 1
V.2.	Saran.....	V – 2

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A: Penurunan matriks kekakuan dan massa riser
- Lampiran B: Listing program
- Lampiran C: Output program
- Lampiran D: Frekuensi Natural
- Lampiran E: Grafik

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis dari gelombang di perairan terbuka.	II - 4
Gambar 2.2.	Sketsa definisi untuk perambatan gelombang berjalan.	II – 4
Gambar 2.3.	Sketsa dimensi gaya gelombang pada silinder terpancang.	II - 16
Gambar 2.4.	Distribusi tekanan di sekitar silinder di dalam gelombang.	II - 18
Gambar 2.5.	Beban aksial dan lateral pada balok.	II - 20
Gambar 2.6.	Gaya momen dan gaya geser pada balok.	II - 21
Gambar 2.7.	Percepatan linier di dalam suatu perambatan waktu.	II - 24
Gambar IV.1.	Distribusi gaya yang bekerja pada riser.	IV - 4
Gambar IV.2.	Displasemen akibat variasi top tension	IV - 10
Gambar IV.3.	Tegangan akibat variasi top tension	IV - 11
Gambar IV.4	Displasemen akibat variasi berat jenis lumpur	IV - 12
Gambar IV.5.	Tegangan akibat variasi berat jenis lumpur.	IV - 13
Gambar IV.6.	Displasemen akibat variasi perpindahan statis	IV - 15
Gambar IV.7.	Tegangan akibat variasi perpindahan statis	IV - 16

DAFTAR NOTASI

$a_{x,y}$	Percepatan partikel air
A	Luas penampang
C_D, C_M	Kofisien drag, Koesifien inersia
d	Kedalaman perairan
dF	Gaya persatuan panjang
dF_D, dF_I	Gaya drag persatuan panjang, gaya inersia persatuan panjang
g	Gravitasi
H	Tinggi gelombang
I	Momen inersia
η	Elevasi permukaan gelombang
k	Angka gelombang ($k=2\pi/L$)
L	Panjang gelombang
ρ	Massa jenis air laut
u, v	Kecepatan partikel air
T	Periode gelombang
A_p	Luas penampang riser
d_i	Diameter dalam riser
d_b	Diameter luar riser
E	Modulus Young
F_x	Gaya eksitasi gelombang
I	Momen inersia riser
L	Panjang tiap segmen riser
T	Tekanan efektif
T_p	Gaya top tension
T_o, T'	Didefinisikan pada pers. (4.5) dan (4.6)

ρ_m	Massa jenis lumpur
ρ_p	Massa jenis riser
ρ_w	Massa jenis air laut
x, θ	Displasemen
$[K]$	Matriks kekakuan riser
$[M]$	Matriks massa riser
$[k]$	Matriks kekakuan yang mengandung unsur EI
$[\tau]$	Matriks kekakuan yang mengandung unsur To
$[\tau']$	Matriks kekakuan yang mengandung unsur T'
ϕ_i	Shape function
q_i	Distribusi beban pada riser

TUGAS AKHIR



Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena
dan samudera (menjadi tinta),
lalu ditambahkan kepadanya tujuh samudera (lagi) sesudah itu,
niscaya kalimat Allah tidak akan habis (dituliskan).
Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana.

(Q.S. Luqman: 27)

TUGAS AKHIR



BAB I PENDAHULUAN

Cipta Karya

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Eksplorasi minyak di daerah lepas pantai untuk perairan dalam pada umumnya menggunakan platform jenis struktur terapung. Dalam hal ini penggunaan struktur terpancang relatif tidak efektif baik ditinjau dari segi teknologi maupun ekonomi. Disamping itu adanya tuntutan faktor keamanan yang tinggi untuk bangunan lepas pantai disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang memang ganas dan selalu berubah-ubah yang menuntut bangunan lepas pantai harus mampu menahan semua beban lingkungan tersebut.

Untuk memenuhi segala tuntutan dalam segi faktor keamanan untuk bangunan lepas pantai yang beroperasi di laut dalam tersebut, maka untuk struktur terpancang dibutuhkan suatu jenis dan ukuran material yang istimewa. Hal ini sulit untuk dipenuhi, oleh karena itu salah satu alternatif lain untuk mengganti struktur terpancang tersebut adalah dengan menggunakan drillship.

Bangunan lepas pantai jenis drillship dapat bertahan untuk tetap mengapung karena adanya buoyancy atau gaya apung yang ditimbulkan oleh struktur drillship itu sendiri. Perubahan permukaan air yang diakibatkan gerakan partikel air yang ditunjukkan dengan adanya puncak dan lembah gelombang, menyebabkan struktur ikut turun naik mengikuti irama perubahan permukaan

perairan. Gaya-gaya karena gerakan turun naik dapat diimbangi dengan perubahan gaya apung dari struktur itu sendiri.

Gaya-gaya yang arahnya horisontal, yaitu akibat gaya gelombang dan arus yang juga selalu berubah-ubah akan mengakibatkan struktur bergerak ke depan dan belakang maupun kesamping kanan dan kiri sehingga struktur bergerak kian kemari tidak dapat mempertahankan posisinya di suatu tempat. Gaya-gaya horisontal yang menyebabkan struktur bergerak kian kemari tidak dapat dilawan oleh struktur itu sendiri, sehingga struktur cenderung untuk hanyut mengikuti arah gaya yang timbul.

Sedangkan gaya-gaya puntir maupun gabungan gaya horisontal dan vertikal, akan menyebabkan struktur oleng ke kiri dan ke kanan atau melakukan gerak rotasi dengan sumbu sejajar garis pandang, melakukan gerak anggukan atau gerak rotasi dengan sumbu garis horisontal tegak lurus garis pandang dan melakukan gerak geleng atau rotasi dengan sumbu sejajar garis vertikal. Gerak oleng ke kiri dan ke kanan serta gerak anggukan dapat diantisipasi oleh struktur itu sendiri yaitu dengan adanya momen pembalik untuk melawan momen gaya dari luar. Sedangkan untuk gerak geleng dari struktur tidak dapat dilawan oleh struktur itu sendiri sehingga struktur cenderung mengikuti gerakan gerakan geleng tersebut.

Struktur bangunan lepas pantai yang melakukan eksplorasi minyak bumi di lepas pantai harus dapat mempertahankan posisinya di suatu posisi tertentu secara tepat di atas lubang pengeboran agar proses eksplorasi dapat berjalan lancar dan aman. Tetapi pada eksplorasi di perairan dalam yang menggunakan struktur terapung, sesuai dengan perilaku struktur terapung yang tidak dapat mempertahankan posisinya dengan tepat, maka perlu suatu unit perlengkapan

yang ditambahkan pada struktur agar dapat mempertahankan posisinya dengan tepat di suatu lokasi. Perlengkapan tambahan ini umumnya berupa sistem tali tambat (mooring system) yaitu yang mengikat struktur pada berbagai arah kebebasan untuk mengatasi masalah di atas. Sehingga dengan adanya sistem tali tambat ini, problem gerak horisontal struktur yang tidak dapat ditahan oleh struktur itu sendiri dapat diatasi, demikian juga gerak geleng dari struktur.

Sistem tali tambat tidak mutlak dapat menghilangkan semua gerak struktur akibat gaya-gaya luar sehingga seolah-olah struktur benar-benar diam seperti struktur terpancang. Hal ini karena adanya toleransi pada kabel-kabel baja sistem tali tambat yang dimaksudkan agar tegangan pada kabel-kabel baja tidak terlalu tinggi. Tingginya tegangan pada sistem tali tambat tersebut selain akibat menahan gaya-gaya dari luar, juga karena berat kabel itu sendiri yang bentangannya sangat panjang. Tegangan yang timbul pada kabel sistem tali tambat juga akan menyebabkan timbulnya tegangan pada sistem join dengan badan struktur, dalam hal ini jelas akan mempengaruhi kekuatan struktur.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistem tali tambat pada struktur bukanlah mengikat struktur sehingga diam pada suatu titik, tetapi sistem tali tambat adalah membatasi gerak struktur sampai pada suatu kondisi tertentu yang diijinkan sehingga meskipun struktur masih dapat bergerak bebas kesegala arah, tetapi maksimum gerakannya belum membahayakan struktur maupun peralatan pendukungnya yang lain. Diantara peralatan pendukungnya selama struktur beroperasi adalah riser yaitu peralatan yang menghubungkan borehole dengan struktur secara vertikal.

Gerakan yang terjadi pada struktur akan berpengaruh langsung pada riser, sebab ujung bagian atas riser berhubungan dengan struktur sehingga riser akan mengikuti semua tingkah laku gerak struktur. Sebaliknya ujung bagian bawah riser terikat di suatu titik secara tetap di atas borehole, walaupun sistem joint di atas borehole yaitu yang berhubungan dengan BOP (Blow Out Preventer) memungkinkan riser dapat bergerak bebas ke segala arah sesuai sistem ball jointnya. Akibat gerakan riser yang berhubungan dengan struktur maka akan menimbulkan tegangan pada riser itu sendiri. Untuk mengurangi tegangan dipakai mekanisme top tension karena tegangan yang berlebihan memungkinkan sekali riser mengalami kegagalan.

1.2. RUANG LINGKUP PERMASALAHAN

Fenomena hubungan antara gerak struktur dan gerak riser serta pengaruh yang ditimbulkannya terutama timbulnya tegangan-tegangan pada riser perlu diperhatikan dan dianalisa khususnya oleh designer pada tahap perencanaan struktur. Juga adanya beberapa parameter yang berpengaruh terhadap segi teknis dan ekonomis dalam perencanaan riser. Tentunya dengan studi mengenai tegangan-tegangan pada riser serta pengaruh dari beberapa parameter yang berhubungan akan didapat suatu gambaran mengenai perilaku riser tersebut.

Pada dasarnya asumsi dasar yang dipakai dalam analisa riser terutama pada pendekatan kondisi batas untuk ujung-ujung riser yaitu ujung atas yang berhubungan dengan struktur dan ujung bawah yang berhubungan dengan BOP dapat dibedakan menjadi dua macam. Umumnya hubungan antara riser dengan

BOP adalah dengan memakai ball joint yaitu sejenis hubungan engsel dengan tidak terbatas pada arahnya, sedang hubungan antara riser dengan struktur dapat diasumsikan sebagai :

a. Hubungan engsel (ball joint)

Hubungan engsel (ball joint) antara riser dengan struktur memungkinkan timbulnya gerakan pada riser yang cenderung mengikuti arah gelombang dan arus yang mengenainya, hal ini berlangsung tanpa menyebabkan timbulnya momen lengkung pada riser.

b. Hubungan roll

Hal ini mengacu pada gerakan yang terjadi pada struktur selalu diikuti oleh gerak riser atau dapat dikatakan bahwa riser seolah-olah ditekuk terus-menerus kearah yang berbeda sesuai arah gerak struktur, hal ini juga akan menyebabkan timbulnya tegangan lengkung pada riser.

Disamping pendekatan terhadap kondisi batas riser seperti diterangkan di atas, juga perlu diperhatikan bahwasistem sambungan riser terutama didekat sistem ball joint atas yaitu yang memakai sistem sambungan teleskopis (slip joint)

Dengan mengacu pada kedua jenis kondisi batas di atas juga terhadap beberapa parameter yang berhubungan, diharapkan akan didapat kondisi ideal yang diinginkan berdasarkan analisa dinamis yang dilakukan.

I.3. BATASAN MASALAH

Untuk lebih mengarahkan uraian dan analisa pada analisa dinamis untuk riser pada drillship akibat gerakan surge, perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Kondisi perairan yang dipakai adalah perairan dalam.
2. Diasumsikan pada drillship terdapat satu buah riser.
3. Gaya-gaya luar yang diperhitungkan adalah gaya eksitasi oleh gelombang dan arus.
4. Gelombang yang terjadi adalah gelombang reguler dengan amplitudo kecil.
5. Kecepatan dan arah arus konstan untuk suatu kondisi gelombang tertentu.
6. Riser diasumsikan sebagai silinder homogen yang kontinu.
7. Sistem ball joint pada ujung-ujung riser diasumsikan sebagai hubungan engsel yang licin.
8. Amplitudo gerakan surge dari drillship sebesar 1.2 ft.

I.4. TUJUAN

Tujuan dalam analisa dinamis untuk riser pada drillship akibat gerakan surge pada tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui frekuensi natural riser.
2. Untuk mengetahui displasemen yang terjadi akibat gaya-gaya luar.
3. Untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada riser akibat gaya-gaya luar.

4. Untuk mengetahui perbandingan dari pengaruh top tension dan berat lumpur yang divariasi pada beberapa harga tertentu.

I.5. MANFAAT

Dengan melakukan analisa dinamis dari riser maka dapat dibuat grafik RAO dari riser tersebut yang akan berguna untuk mengetahui perilaku riser akibat beban gelombang, arus dan gerakan surge drillship sehingga kegiatan operasi dapat berlangsung lancar dan aman.

I.6. METODELOGI PENULISAN

Metode penulisan dalam membahaas Analisa Dinamis untuk Riser pada Drillship Akibat Gerakan Surge dimulai dengan pendekatan secara teoritis yang dapat menggambarkan hubungan antara riser dan kondisi lingkungan mendekati sebenarnya. Dengan dibantu beberapa metode penyelesaian yang didapat dari beberapa literatur pendukung yang berhubungan untuk menghasilkan suatu solusi yang dapat menjawab semua yang dimaksud dalam tujuan pembahasan.

Secara rinci dalam metode penulisan dilakukan beberapa langkah yang ditempuh secara bertahap, yaitu sebagai berikut :

- * Pendekatan Teoritis

Dengan mengacu pada beberapa teori pendukung dalam pendekatan masalah, terutama teori-teori yang mendasari penyusunan rumus penyelesaian yaitu teori gelombang dan teori mekanika klasik hingga teori-teori penerapan seperti teori Morison's dan teori balok Bernoulli-Euler.

* Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan sebagai pembanding dalam pengambilan suatu metode penyelesaian. Untuk studi literatur ini diambil baik dari handbook seperti "Mechanics of Wave Force on Offshore Structure" oleh Turgut Sarpkaya yaitu dalam salah satu babnya yang membahas analisa dinamis riser maupun dari beberapa makalah yang diambil dari kumpulan makalah Offshore Technology Conference (OTC) yang salah satu diantaranya adalah "Dinamic Analysis of Riser and Caissons by the Element Methode" oleh T.N. Gardener dan M.A. Kotch.

* Penyusunan Program Komputer

Dari beberapa metode penyelesaian untuk analisa riser khususnya analisa dinamis riser dipilih metode elemen hingga dalam perhitungan dan analisa. Dengan banyaknya variabel disamping banyaknya derajat kebebasan dalam perhitungan, hal ini karena dalam perhitungan riser dibagi-bagi menjadi banyak elemen dan tiap elemen mempunyai empat derajat kebebasan. Sehingga dalam perhitungan secara metode elemen hingga yang memakai prinsip matrik harus dibantu komputer agar perhitungan dapat dilakukan dengan cepat dan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Untuk itu disusun suatu program komputer berdasarkan elemen hingga.

TUGAS AKHIR



Dan Dialah, Allah yang menundukkan lautan (untukmu),
agar kamu dapat memakan dari padanya daging segar
dan kamu keluarkan dari lautan itu perhiasan yang kamu pakai
dan kamu lihat bahtera berlayar padanya
dan supaya kamu mencari (keuntungan) dari karunianya
dan supaya kamu bersyukur.

(An Nahl : 14)

TUGAS AKHIR



BAB II

DASAR TEORI

Cipta Karya

BAB II

DASAR TEORI

II.1. TEORI GELOMBANG

Banyak teori gelombang yang telah dikembangkan dapat diterapkan untuk beragam lingkungan yang berbeda, tergantung pada parameter-parameter lingkungan yang bersangkutan, misalnya kedalaman perairan, tinggi gelombang dan periode gelombang. Banyak dari teori gelombang yang biasa dipakai di dalam perancangan bangunan lepas pantai di dasarkan pada tiga parameter ini. Sedangkan teori yang akan dikembangkan disini akan dibatasi untuk dasar laut yang datar yang mempunyai kedalaman tetap.

Semua teori gelombang mengasumsikan bahwa gelombang adalah periodik dan uniform yang mempunyai suatu periode T , yaitu waktu yang dibutuhkan oleh puncak gelombang untuk menempuh jarak sepanjang satu panjang gelombang dan suatu tinggi H , yaitu jarak vertikal antara puncak dan lembah yang berdekatan dari suatu gelombang. Panjang gelombang L adalah jarak horisontal antara dua titik yang sama pada dua gelombang yang berturutan dan diukur dalam arah penjalaran gelombang. Untuk gelombang periodik, kecepatan penjalaran puncak (atau lembah) gelombang dinamakan celerity C .

$$C = \frac{L}{T} \quad (2.1)$$

Dalam pengembangan teori gelombang, diasumsikan bahwa seluruh fluida adalah incompressible dan aliran adalah kontinu. Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa massa dari fluida adalah kekal.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

atau bisa ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \quad (2.3)$$

dan

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (2.4)$$

dimana operator ∇ didefinisikan sebagai

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z}\mathbf{k} \quad (2.5)$$

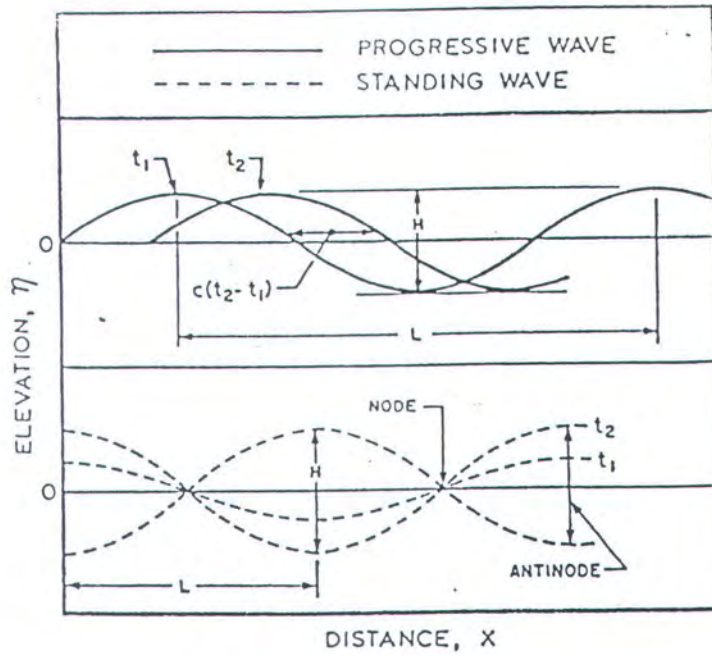
dan u, v, w adalah tiga komponen dari percepatan partikel fluida di dalam koordinat Cartesian OXYZ dan ∂ adalah menunjukkan turunan parsial terhadap sumbu yang bersangkutan. Koordinat sistem ini dipilih sehingga titik origin O berada pada permukaan air tenang, x adalah positif jika searah dengan arah perambatan gelombang, y adalah positif kearah atas dan z mengacu pada sistem aturan tangan kanan dari sumbu x dan y .

II.1.1 Teori Gelombang Umum

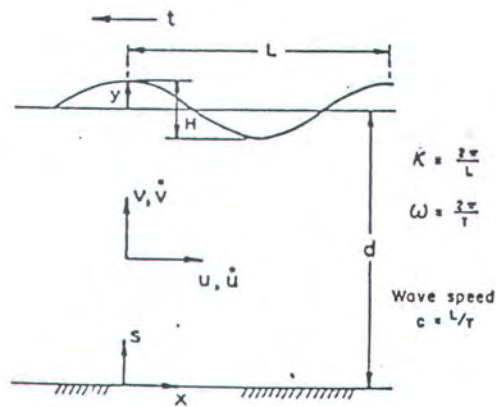
Diasumsikan bahwa gelombang adalah dua dimensi di dalam bidang XY, dasar laut adalah datar dan konstan dengan kedalaman dari permukaan air tenang, dan gelombang menjalar dalam arah positif sumbu X.

Perlu dikemukakan juga perbedaan antara gelombang berjalan dengan gelombang berdiri. Gelombang berjalan adalah gelombang yang merambat sepanjang sumbu X dengan kecepatan tertentu (celerity). Sedangkan gelombang berdiri adalah permukaan air yang berosilasi secara vertikal diantara titik yang tetap tanpa adanya penjalaran. Gelombang berdiri juga dapat dianggap sebagai superposisi dari dua gelombang berjalan yang mempunyai amplitudo dan periode yang sama tetapi mempunyai arah perambatan yang berlawanan sehingga total penjalarannya adalah nol, dan hanya terjadi osilasi secara vertikal. Pada titik tertentu, gelombang berdiri mengalami sejumlah osilasi yang sama terhadap sumbu X dari suatu gelombang berikutnya. Dalam tulisan ini tidak akan membahas gelombang berdiri, tetapi akan membicarakan gelombang berjalan yang untuk singkatnya akan disebut sebagai gelombang saja.

Masalah nilai batas di dalam kasus dua dimensi dapat diringkas sebagai berikut :



Gambar 2.1 Jenis dari gelombang di perairan terbuka dan tertutup.



Gambar 2.2 Sketsa definisi untuk perambatan gelombang berjalan.

Persamaan diferensial :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.6)$$

Kondisi batas dasar perairan :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = -d \quad (2.7)$$

Kondisi kinematis permukaan bebas :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = \eta \quad (2.8)$$

Kondisi dinamis permukaan bebas :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 \right] + g\eta = 0 \quad \text{pada } y = \eta \quad (2.9)$$

II.1.2 Teori Gelombang stoke Orde Dua

Sebelum menjelaskan teori gelombang Stoke orde dua, akan dijelaskan terlebih dahulu teori gelombang linier. Karena teori Stoke orde satu pada dasarnya adalah teori gelombang linier. Dimana teori ini juga diketahui sebagai teori Airy atau teori gelombang sinusoidal. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombang atau kedalaman air. Asumsi ini memungkinkan kondisi batas permukaan untuk dilinierisasi dengan menurunkan bentuk tinggi gelombang yang cukup sulit pada orde pertama. Asumsi ini juga memungkinkan kondisi permukaan bebas untuk diterapkan pada mean water level (MWL), dari pada untuk diterapkan pada permukaan bebas yang berosilasi. Penyelesaian untuk ϕ diasumsikan dengan membawa formasi power

series dalam hubungan parameter nondimensional ε , yang didefinisikan dalam hubungan antara slope gelombang (H/L).

$$\varepsilon = \frac{kH}{2} \quad (2.10)$$

dimana k adalah angka gelombang, didefinisikan sebagai $k = 2\pi/L$. Selanjutnya

$$\phi = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n \phi_n \quad (2.11)$$

dimana ϕ_n adalah penyelesaian orde ke n untuk ϕ . Mirip dengan profil gelombang η , yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n \eta_n \quad (2.12)$$

Karena teori linier ditunjukkan dengan penyelesaian orde pertama (linier dalam tinggi gelombang H , atau slope gelombang ε), hanya hubungan pertama dari rangkaian dalam ϕ dan η adalah diperoleh pada substitusi dalam kondisi batas permukaan (pers. 2.14-2.15). Dimana kondisi - kondisi tersebut adalah :

Kondisi batas dasar :

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = -d \quad (2.13)$$

Kondisi kinematis permukaan bebas :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = \eta \quad (2.14)$$

Kondisi dinamis permukaan bebas :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] + g\eta = 0 \quad \text{pada } y = \eta \quad (2.15)$$

Jadi persamaan (2.14) - (2.15) menurunkan untuk

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t} - \frac{\partial \phi_1}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.16)$$

dan

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial t} + g\eta_1 = 0 \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.17)$$

Dari persamaan (2.17), profil permukaan bebas diberikan dengan :

$$\eta_1 = -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial t} \right) \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.18)$$

Dua kondisi batas permukaan bebas mungkin dapat dikombinasikan dengan mengeleminasi salah satu variabel yang tidak diketahui, η_1 sebagaimana berikut :

$$\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_1}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.19)$$

Untuk gelombang progresif dengan kecepatan c , periodisitas diberikan oleh $\alpha = x - ct$. Formasi α ini mengasumsikan bahwa waktu berjalan dalam arah x negatif (arah dari perambatan gelombang sepanjang positif x). Sebagai alternatif, jika waktu ditempuh dalam arah yang sama yaitu x positif (arah perambatan gelombang negatif x), $\alpha = x + ct$.

Tipe BVP ini diselesaikan dengan pemisahan dari teknik variabel.

Potensial ϕ_1 diasumsikan dalam bentuk :

$$\phi_1 = Y(y)\Lambda(\alpha) \quad (2.20)$$

dimana ketika disubstitusikan dalam persamaan diferensial parsial menghasilkan dua persamaan diferensial yang lain :

$$\frac{d^2 Y}{dy^2} - k^2 Y = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{d\Lambda}{d\alpha} + k^2 \Lambda = 0 \quad (2.22)$$

dimana k^2 adalah sebuah konstanta. Ini ditunjukkan belakangan bahwa k adalah wave number. Persamaan umum adalah :

$$Y = A_1 \cosh ky + A_2 \sinh ky \quad (2.23)$$

$$\Lambda = A_3 \cos [k(x-ct)] + A_4 \sin[k(x-ct)] \quad (2.24)$$

Titik referensi ($x=0$) dipertimbangkan untuk tiap gelombang bahwa pada $x = 0$, profil permukaan η_1 , menjadi sama dengan $H/2$ (puncak gelombang), ketika $t = 0$. Kemudian $A_3 = 0$. Kondisi batas dasar memberikan $A_2 = A_1 \tanh kd$. Dengan memperhatikan persamaan , ϕ sekarang dapat ditulis :

$$\phi = A_5 \frac{\cosh k(y+d)}{\cosh kd} \sin[k(x-ct)] \quad (2.25)$$

dimana $A_5 = A_1.A_4$. Dan penerapan $\eta = H/2$ dari pers. (2.18) pada $x = 0$, $y = 0$, dan pada $t = 0$, kita mendapatkan $A_5 = gH/2kc$. Juga dari persamaan (2.25) ,

panjang gelombang $L = 2\pi/k$, periode gelombang $T = 2\pi/kc$, $c = L/T$, dan $kc = \omega$. Dimana ω adalah frekuensi gelombang.

Jadi penyubstitusian $s = y + d$ dan $\theta = k(x-ct)$ ekspresi untuk potensial velocity orde pertama, $\phi (= \varepsilon\phi)$, menjadi

$$\phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh ks}{\cosh kd} \sin \theta \quad (2.26)$$

Dari persamaan (2.18), kita mendapatkan

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta \quad (2.27)$$

Dengan memasukkan nilai ϕ dalam kombinasi kondisi batas permukaan bebas (pers. 2.19), dapat ditentukan formula sebagai berikut :

$$\omega^2 = gk \tanh kd \quad (2.28)$$

Sebuah alternatif bentuk lain dari ϕ , dapat ditentukan dengan mengkombinasikan persamaan (2.26) dan persamaan (2.28), yaitu

$$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.29)$$

Teori gelombang linier adalah pendekatan sederhana terhadap masalah harga batas gelombang (*Boundary Value Problem*). Teori tersebut mempunyai komponen frekuensi tunggal yang digambarkan dengan gelombang sinusoidal dari frekuensi ω . Jelas bahwa pendekatan selanjutnya dari teori berturut-turut mungkin diperoleh dengan teknik gangguan diuraikan lebih awal.

Metode ini diperkirakan valid untuk $H/d \ll (kd)^2$, untuk $(kd) < 1$ dan $H/L \ll 1$. Kondisi-kondisi seperti ini menempatkan beberapa pembatasan pada tinggi gelombang dalam perairan dangkal dan teori Stokes secara umum tidak dapat diterapkan untuk perairan dangkal.

Pada substitusi dari rangkaian untuk ϕ dari persamaan (2.11) dalam persamaan Laplace dan kondisi batas dasar, serta pemisahan bentuk dari orde yang berbeda pada ε , ε^2 , dan seterusnya, persamaan berikutnya terlihat mirip dengan bentuk aslinya.

$$\frac{\partial^2 \phi_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_n}{\partial y^2} = 0 \quad \text{untuk } n = 1, 2, \dots \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial \phi_n}{\partial y} = 0 \quad \text{pada } y = -d \quad \text{untuk } n = 1, 2, \dots \quad (2.31)$$

Bagaimanapun, dua kondisi permukaan bebas tidak ditampilkan karena keduanya digabungkan dalam ϕ_1 , ϕ_2 , dan seterusnya untuk komponen orde yang lebih tinggi,

dan matematika adalah sangat tidak praktis. Bentuk orde pertama (ε) untuk ϕ_1 adalah ekuivalen terhadap teori gelombang linier.

$$\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial y^2} = 0 \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.32)$$

$$\eta_1 = -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} \right) \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.33)$$

Bagaimanapun, bentuk orde kedua (ε^2) menghasilkan

$$\frac{\partial^2 \phi_2}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_2}{\partial y} = -\eta_1 \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_1}{\partial y} \right] - \frac{\partial}{\partial t} \left[\left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial y} \right)^2 \right] \text{ pada } y = 0 \quad (2.34)$$

dan

$$\eta_2 = -\frac{1}{g} \left[\frac{\partial \phi_2}{\partial t} + \eta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial y \partial t} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial y} \right)^2 \right] \text{ pada } y = 0 \quad (2.35)$$

Jadi penyelesaian untuk ϕ_2 ditulis dalam bentuk dari ϕ_1 dan η_1 .

Demikian pula, ketika ϕ_2 diketahui, η_2 dapat ditentukan dari persamaan (2.35).

Untuk teori Stokes orde dua, potensial velocity didefinisikan sebagai berikut :

$$\phi = \varepsilon \phi_1 + \varepsilon^2 \phi_2 \quad (2.36)$$

ϕ_1 dan ϕ_2 keduanya memenuhi persamaan diferensial (2.30), jadi penyelesaian untuk ϕ_2 seharusnya mempunyai bentuk serupa dengan persamaan (2.25) untuk ϕ_1 , kecuali konstanta k harus diganti dengan $2k$ dan θ dengan 2θ . Dengan menerapkan kondisi batas pada permukaan bebas dan kemudian kondisi awal yang tepat, dapat ditunjukkan bahwa :

$$\varepsilon^2 \phi_2 = \frac{6\pi}{k^2 T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta \quad (2.37)$$

Sementara hubungan dispersi adalah sama dengan yang diberikan pada teori linier, yaitu :

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh kd \quad (2.38)$$

Dengan menggabungkan nilai Φ_1 dan Φ_2 seperti pada persamaan (2.18) dan (2.38) untuk η_1 dan η_1 , maka profil elevasi permukaan diberikan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3 kd} [2 + \cosh 2kd] \cos 2\theta \quad (2.39)$$

Untuk deep water, profil gelombang berbentuk :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta + \frac{\pi H^2}{4L_0} \cos 2\theta \quad (2.40)$$

Sedangkan kecepatan partikel air untuk Stokes orde dua diberikan sebagai berikut :

$$\text{Horizontal : } u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta \quad (2.41)$$

$$\text{Vertikal : } v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta \quad (2.42)$$

II.2. GAYA GELOMBANG PADA STRUKTUR RAMPING

II.2.1 Formulasi Gaya Gelombang

Perhitungan gaya gelombang pada struktur ramping lepas pantai adalah salah satu tugas utama di dalam perancangan bangunan lepas pantai. Dan juga salah satu tugas yang paling sulit karena melibatkan kompleksitas interaksi antara struktur dengan gelombang. Namun demikian beberapa teori yang ada sekarang digabungkan dengan pemahaman kita tentang fenomena interaksi lewat studi analisa, percobaan laboratorium dan pengukuran di lautan adalah cukup memadai dalam memperkirakan beban gelombang pada beragam struktur bangunan lepas pantai.

Ada tiga cara dalam perhitungan gaya-gaya gelombang pada struktur bangunan lepas pantai, yaitu :

- Persamaan Morisson
- Teori Froude - Krylov
- Teori Diffraksi

Persamaan Morisson mengasumsikan bahwa gaya yang bekerja pada struktur akibat beban gelombang terdiri dari gaya inersia dan gaya drag yang dijumlahkan secara linear. Komponen-komponen yang melibatkan suatu koefisien inersia dan koefisien drag harus ditentukan secara eksperimen. Persamaan Morisson dapat diterapkan jika terdapat gaya drag yang berarti. Hal ini biasanya terjadi pada struktur yang ramping dibandingkan dengan panjang gelombang.

Jika gaya drag kecil dan gaya inersia cukup dominan, tetapi struktur masih relatif ramping, maka teori Froude Krylov dapat digunakan. Teori ini menggunakan tekanan gelombang datang (incident wave) dan metode pressure-area pada permukaan struktur untuk menghitung gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Kelebihan dari metode ini adalah obyek-obyek yang simetris, gaya-gaya dapat diperoleh dalam bentuk tertutup (closed form) dan koefisien-koefisien gaya dapat ditentukan dengan mudah.

Jika ukuran struktur cukup besar dibandingkan dengan panjang gelombang, keberadaan struktur tersebut akan merubah medan gelombang di sekitar struktur tersebut. Dalam kasus ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam menghitung gaya-gaya gelombang. Metode ini dinamakan Teori Difraksi. Penyelesaian pada umumnya melibatkan teknik numerik untuk menyelesaikan Persamaan Laplace dengan kondisi batasnya.

Untuk menentukan dimana ketiga metode perhitungan gaya ini dapat diterapkan, pertama kali kita harus mengadakan analisa dimensional. Gaya f karena gelombang pada struktur didefinisikan oleh suatu karakteristik dimensi, misalnya D (diameter dari silinder vertikal) dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$f = \psi(t, T, D, L, u_0, \rho, \nu) \quad (2.43)$$

dimana :

t = waktu

T = periode gelombang

L = panjang gelombang

u_0 = kecepatan horisontal maksimum dari partikel air

ρ = massa jenis air

ν = viskositas kinematis

Gaya f dapat pula dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{f}{\rho u_0^2 D} = \psi\left(\frac{t}{T}, \frac{u_0 T}{D}, \frac{u_0 D}{\nu}, \frac{\pi D}{L}\right) \quad (2.44)$$

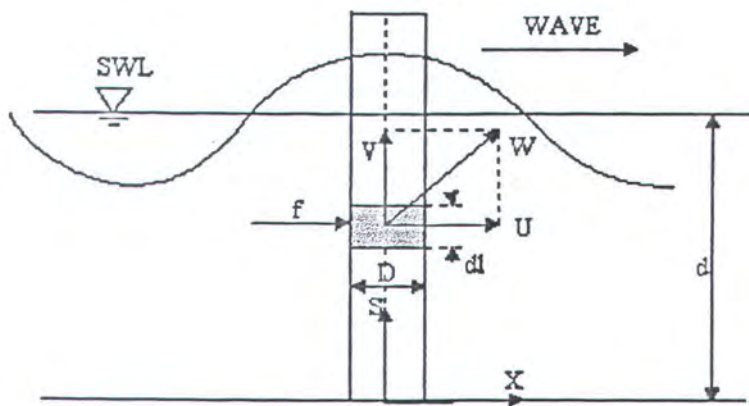
t/T = dimensionless time

$\frac{u_0 T}{D}$ = Parameter Keulegan - carpenter (KC)

$\frac{u_0 D}{\nu}$ = Reynolds number

$\frac{\pi D}{L}$ = Parameter diffraksi

Nomor KC adalah ukuran pentingnya pengaruh gaya drag, sedangkan parameter diffraksi adalah menentukan pentingnya efek diffraksi. Dari definisi di atas, jika nomor KC besar maka parameter diffraksi kecil dan sebaliknya. Jadi pengaruh diffraksi yang besar, berarti pengaruh drag adalah kecil dan sebaliknya jika pengaruh drag besar, diffraksi dapat diabaikan.



Gambar 2.3 Sketsa dimensi gaya gelombang pada silinder terpancang

II.2.2. Persamaan Morisson

Persamaan Morisson dikembangkan oleh Morisson, O'Brein, Johnson dan Shaaf (1950) yang menggambarkan gaya gelombang horisontal yang bekerja pada silinder vertikal yang memanjang dari dasar sampai melewati permukaan bebas. Morisson dan kawan - kawan mengemukakan bahwa gaya yang dihasilkan oleh gelombang permukaan yang tidak terganggu pada silinder vertikal yang memanjang dari dasar sampai melewati permukaan bebas, terdiri dari dua komponen yaitu inersia dan drag.

II.2.3. Pengembangan Persamaan Morisson

Gaya adalah terjadi karena partikel air yang bergerak di dalam suatu gelombang dan membawa momentum dengannya. Saat partikel air melewati sekitar silinder lingkar, akan terjadi percepatan dan kemudian perlambatan. Gaya pada segmen kecil dari silinder, df , adalah sebanding dengan percepatan partikel air pada pusat silinder (dimisalkan bahwa struktur silindernya sendiri tidak ada).

$$df_i = C_M \rho \frac{\pi}{4} D^2 \frac{a_i}{a} ds \quad (2.45)$$

dimana :

df_i = gaya inersia pada segmen ds dari silinder vertikal

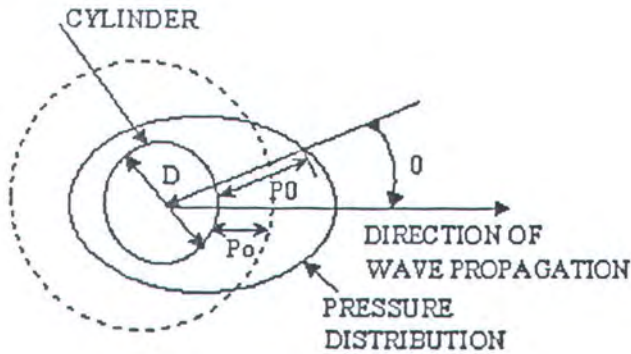
D = diameter silinder

$\frac{a_i}{a}$ = percepatan partikel air lokal pada centerline dari silinder

C_M = koefisien inersia

Komponen gaya drag terjadi karena adanya ulekan pada sisi belakang dari silinder (downstream). Ulekan adalah suatu daerah tekanan rendah dibandingkan dibandingkan dengan tekanan pada sisi depan dari silinder (upstream). Perbedaan tekanan adalah disebabkan oleh ulekan antara sisi depan (upstream) dan sisi belakang (downstream) dari silinder pada suatu waktu yang ditentukan. Perbedaan tekanan ini menyebabkan suatu gaya yang mendesak dalam arah kecepatan partikel air. Dalam suatu aliran tetap, tekanan pada sisi belakang silinder (downstream) adalah tetap dan gaya drag sebanding dengan kuadrat dari kecepatan partikel air. Dalam aliran yang berosilasi, harga mutlak dari kecepatan

partikel air adalah untuk memastikan bahwa gaya drag adalah searah dengan arah kecepatan.



Gambar 2.4 Distribusi tekanan di sekitar silinder di dalam gelombang.

$$df_D = \frac{1}{2} C_D \rho D |u| u ds \quad (2.46)$$

Dimana :

df_D = Gaya drag pada segmen ds dari silinder

u = Kecepatan partikel air

C_D = Koefisien drag

Maka persamaan Morisson dapat disusun sebagai berikut :

$$f = C_M A_I \frac{a}{a} + C_D A_D |u| u \quad (2.47)$$

dimana :

$$A_I = \rho \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2.48)$$

$$A_D = \frac{1}{2} \rho D \quad (2.49)$$

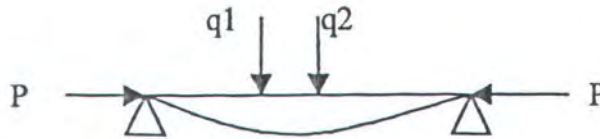
f : Vektor gaya hidrodinamis tiap satuan panjang yang tegak lurus sumbu konstruksi dalam satuan N/m atau lb/ft.

Asumsi - asumsi dalam pemakaian persamaan morison :

1. Struktur tidak dipengaruhi oleh gerakan gelombang (adanya gelombang). Artinya diameter struktur relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, atau $D/\lambda \leq 0.2$
2. Kecepatan dan percepatan partikel yang ada dalam persamaan morison dihitung dengan teori gelombang yang ada (Airy, Stokes, Cnoidal dll). Pemilihan teori gelombang mengacu pada diagram " Region of Validity".
3. Gaya angkat tidak diperhitungkan.
4. Gaya gelombang pada silinder tegak yang terpancang pada hakekatnya dapat dinyatakan sebagai jumlah dari gaya drag dan gaya inersia, yang masing-masing gaya ini dapat dihitung secara terpisah.

II.3. TEORI LENTURAN BALOK

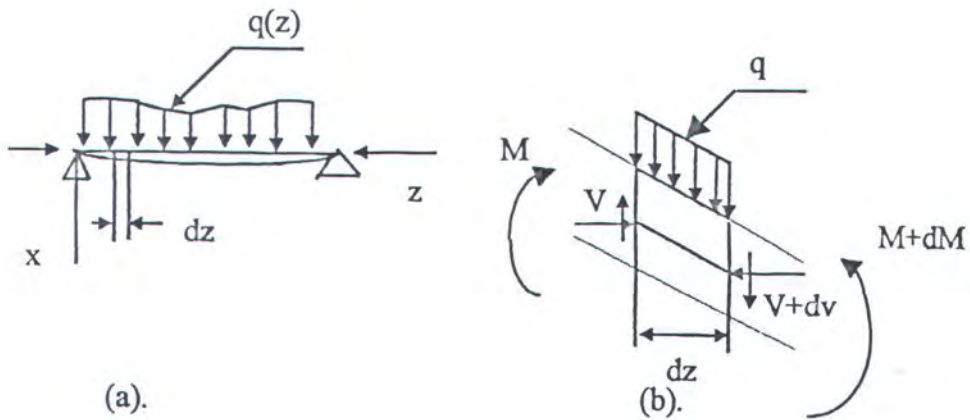
Lenturan pada balok atau sering disebut *beam column* adalah terjadinya perubahan diplasemen pada balok akibat menerima beban aksial dan menahan beban lateral secara bersamaan, hal ini dapat digambarkan sebagai berikut :



G.b. 2.5 Beban aksial dan lateral pada balok.

Dengan menggunakan metode analisa *Bernoulli-Euler* yang menganggap bahwa sebuah penampang melintang yang datar dari sebuah balok akan tetap datar selama lenturan. Prinsip dasar untuk analisa dengan metode ini dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.7 yaitu balok menerima gaya aksial P dan gaya lateral terdistribusi dengan intensitas q yang bervariasi terhadap jarak z sepanjang balok.

Tinjau sebuah elemen kecil dz diantara dua penampang melintang yang tegak lurus dengan sumbu mula-mula (*undeflected axis*) dari balok seperti pada gambar 2.6.b. Gaya lateral ditunjukkan sebagai intensitas konstan q sepanjang dz dan diasumsikan positif pada arah sumbu x negatif, dalam hal ini kebawah. Gaya geser V dan momen lengkung M bekerja pada sisi-sisi elemen yang diasumsikan positif seperti arah tanda panah yang ditunjukkan.



Gb. 2.6. Gaya momen dan gaya geser pada balok

Hubungan semua gaya - gaya tersebut yaitu gaya geser V dan momen lengkung M ditunjukkan dalam keseimbangan elemen pada gambar 2.6.b. Penjumlahan gaya pada arah y adalah :

$$-V + q \, dz + (V + dV) = 0$$

$$q = -dV/dz \quad (2.50)$$

Untuk mendapat momen pada titik n dengan mengasumsikan sudut antara sumbu balok dengan horisontal adalah kecil, maka :

$$M + q \, dz \, dz/2 + (V + dV) \, dz - (M + dM) + P \, (dx/dz) \, dz = 0$$

$$q \, dz^2/2 + V \, dV + dV \, dz - dM + P \, dx = 0$$

Untuk orde dua yang diabaikan, persamaan menjadi :

$$V dV - dM + P dx = 0$$

$$V = \frac{dM}{dz} - P \frac{dx}{dz} \quad (2.51)$$

Pengaruh deformasi melintang dan pemendekan sumbu balok diabaikan, ekspresi kurvatur dari sumbu balok adalah :

$$EI \frac{d^2x}{dz^2} = -M \quad (2.52)$$

Harga EI menunjukkan kekakuan lengkung dari balok akibat lengkungan balok, yang diasumsikan bahwa hal tersebut simetri. Kombinasi pers. (2.52) dengan pers. (2.50) dan pers. (2.51) didapatkan persamaan differensial :

$$EI \frac{d^3x}{dz^3} + P \frac{dx}{dz} = -V \quad (2.53)$$

$$EI \frac{d^4x}{dz^4} + P \frac{d^2x}{dz^2} = q \quad (2.54)$$

II.4. TEORI GERAK HORISONTAL MAKSIMUM

Yang dimaksud dengan gerak horisontal maksimum adalah pembatasan gerakan struktur sampai pada suatu jarak tertentu terhadap suatu titik yang berada

tepat di atas lubang pengeboran (borehole), tentu saja yang dimaksud struktur di sini adalah struktur pengeboran terapung. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga struktur dan seluruh sistemnya tetap aman walaupun selalu bergerak akibat gaya-gaya luar.

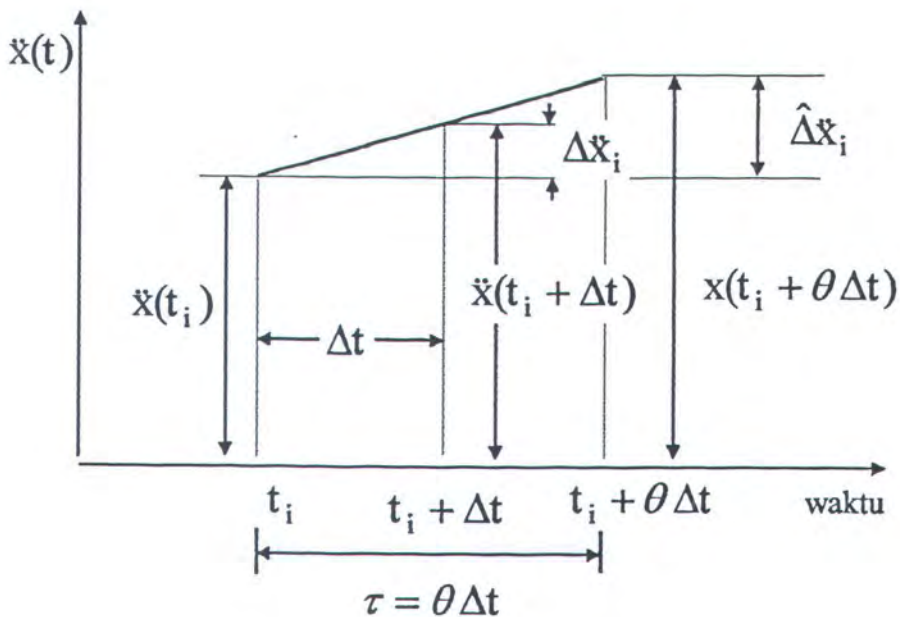
Gerak horisontal struktur (drift, sway atau surge) akan menghasilkan tegangan bending pada pipa bor (drill pipe) khususnya pada daerah di sekitar rotary drive bushing pada struktur dan pada pencegah blow out (BOP) yang menempel di dasar laut. Sedangkan selama beroperasinya pipa bor selalu berputar melakukan penembusan di dasar laut. Dengan demikian tegangan bending yang terjadi akan berpindah dari satu sisi ke sisi sebaliknya karena pipa bor selalu berputar atau seolah-olah pipa bor ditekuk -tekuk secara terus-menerus.

Berdasarkan analisa dan perhitungan yang dilakukan oleh Hansford dan Lubinski (1969), didapatkan harga gerak horisontal maksimum yang diperbolehkan pada suatu struktur pengeboran terapung sebesar 5 % kedalaman perairan. Harga 5 % tersebut dapat dipakai oleh semua jenis struktur pengeboran terapung termasuk drillship dan hal tersebut dipakai sebagai patokan dalam perhitungan.

Untuk pembahasan selanjutnya dipakai harga horisontal maksimum dari struktur sebesar amplitudo respon gerakan surge dari drillship seperti yang ada di dalam data.

II. 5. METODA WILSON - θ

Integrasi persamaan gerak tak linier dengan menggunakan metode percepatan linier langkah demi langkah dengan bentuk pengembangan oleh Wilson, didasarkan pada anggapan bahwa percepatan dapat dinyatakan sebagai fungsi linier selama selang waktu $\tau = \theta \Delta t$ seperti terlihat pada gambar (2.7) berikut :



Gambar (2.7). Percepatan linier dalam suatu pertambahan waktu

Dari gambar di atas dapat ditulis suatu bentuk linier untuk percepatan dalam suatu pertambahan selang waktu sebagai berikut :

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}_i + \frac{\hat{\Delta}\ddot{x}}{\tau}(t - t_i) \quad (2.55)$$

dimana $\Delta\ddot{x}$ diberikaan oleh persamaan :

$$\hat{\Delta}\ddot{x}_i = \ddot{x}(t - \tau) - \ddot{x}(t_i) \quad (2.56)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2.55) sebanyak dua kali akan menghasilkan :

$$\dot{x}(t) = \dot{x}_i + \ddot{x}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \frac{\hat{\Delta}\ddot{x}_i}{\tau}(t - t_i)^2 \quad (2.57)$$

dan

$$x(t) = x_i + \dot{x}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \ddot{x}_i(t - t_i)^2 + \frac{1}{6} \frac{\hat{\Delta}\ddot{x}_i}{\tau}(t - t_i)^3 \quad (2.58)$$

Dengan mengevaluasi persamaan (2.57) dan (2.58) pada akhir dari suatu selang waktu yaitu $t = t_i + \tau$, didapatkan :

$$\hat{\Delta}\dot{x}_i = \dot{x}_i \tau + \frac{1}{2} \Delta\ddot{x}_i \tau \quad (2.59)$$

dan

$$\hat{\Delta}x_i = \dot{x}_i \tau + \frac{1}{2} \ddot{x}_i \tau^2 + \frac{1}{6} \Delta\ddot{x}_i \tau^2 \quad (2.60)$$

dimana $\hat{\Delta}x_i$ dan $\hat{\Delta}\dot{x}_i$ didefinisikan oleh persamaan :

$$\hat{\Delta}x_i = x(t_i + \tau) - x(t_i)$$

$$\hat{\Delta}\dot{x}_i = \dot{x}(t_i + \tau) - \dot{x}(t_i)$$

Setelah mendapatkan persamaan (2.60) untuk suatu pertambahan percepatan $\hat{\Delta}\ddot{x}$, kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (2.59), maka didapatkan :

$$\hat{\Delta}\ddot{x}_i = \frac{6}{\tau^2} \Delta x_i - \frac{6}{\tau} \dot{x}_i - 3\ddot{x}_i \quad (2.61)$$

dan

$$\hat{\Delta}\dot{x}_i = \frac{3}{\tau} \Delta x_i - 3\dot{x}_i - \frac{\tau}{2} \ddot{x}_i \quad (2.62)$$

Akhirnya dengan mensubstitusikan persamaan (2.61) dan (2.62) ke dalam persamaan gerak incremental yaitu persamaan :

$$M\hat{\Delta}\ddot{x}_i + C(\dot{x})\hat{\Delta}\dot{x}_i + K(x)\hat{\Delta}x_i = \hat{\Delta}F_i$$

akan dihasilkan suatu persamaan untuk pertambahan perpindahan (incremental displasemen) $\hat{\Delta}x_i$ yang dapat ditulis sebagai :

$$\overline{K}_i \hat{\Delta}x_i = \overline{\hat{\Delta}F}_i \quad (2.63)$$

dan

$$\overline{K}_i = K_i + \frac{6}{\tau^2} M + \frac{3}{\tau} C_i \quad (2.64)$$

dan

$$\overline{\hat{\Delta}F}_i = \hat{\Delta}F_i + M\left(\frac{6}{\tau} \dot{x}_i + 3\ddot{x}_i\right) + C_i\left(3\dot{x}_i + \frac{\tau}{2} \ddot{x}_i\right) \quad (2.65)$$

Persamaan (2.63) mempunyai bentuk yang sama seperti persamaan keseimbangan statis incremental dan dapat diselesaikan untuk mendapatkan pertambahan

perpindahan $\hat{\Delta x}_i$ dengan hanya menyelesaikan persamaan linier dari suatu sistem.

Untuk mendapatkan pertambahan percepatan $\hat{\Delta \ddot{x}}_i$ selama suatu selang waktu, perlu kita substitusikan harga $\hat{\Delta x}_i$ yang didapat dari solusi persamaan (2.63), ke dalam persamaan (2.61). Pertambahan percepatan $\Delta \ddot{x}_i$ untuk selang waktu normal Δt , didapat dengan interpolasi linier. Jadi :

$$\Delta \ddot{x} = \frac{\hat{\Delta \ddot{x}}}{\theta} \quad (2.66)$$

Untuk menghitung pertambahan kecepatan $\Delta \dot{x}_i$ dan pertambahan perpindahan Δx_i sehubungan dengan selang waktu normal Δt , kita substitusikan Δt menggantikan parameter selang waktu dalam persamaan (2.59) dan (2.60), yaitu

$$\Delta \dot{x}_i = \ddot{x}_i \Delta t + \frac{1}{2} \Delta \ddot{x} \Delta t \quad (2.67)$$

dan

$$\Delta x_i = \dot{x}_i \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_i \Delta t^2 + \frac{1}{6} \Delta \ddot{x}_i \Delta t^2 \quad (2.68)$$

Akhirnya perpindahan x_{i+1} dan kecepatan \dot{x}_{i+1} pada akhir dari selang waktu normal, dihitung dengan :

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \quad (2.69)$$

dan

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \Delta \dot{x}_i \quad (2.70)$$

Maka percepatan awal untuk selang waktu berikutnya dihitung dari kondisi keseimbangan dinamis pada waktu $t + \Delta t$, adalah :

$$\ddot{x}_{i+1} = M^{-1} [F_{i+1} - C_{i+1} \dot{x}_{i+1} - K_{i+1} x_{i+1}] \quad (2.71)$$

dimana perkalian $C_{i+1} \dot{x}_{i+1}$ serta $K_{i+1} x_{i+1}$ menyatakan vektor-vektor gaya redaman dan gaya kekakuan pada akhir selang waktu $t_{i+1} = t + \Delta t$. Bila vektor perpindahan, kecepatan dan percepatan telah ditentukan pada waktu $t_{i+1} = t_i + \Delta t$, maka proses perhitungan diulangi untuk mendapatkan besaran-besaran tersebut di atas pada selang waktu berikutnya $t_{i+1} = t_{i+1} + \Delta t$ dan proses ini dilanjutkan sampai dengan waktu akhir yang diinginkan.

TUGAS AKHIR



Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu
dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(Q.S. Al-Mujadillah : 11)

TUGAS AKHIR



BAB III

FORMULASI GERAKAN RISER

Cipta Karya

BAB III

FORMULASI GERAKAN RISER

III.1. PERSAMAAN GERAK LATERAL RISER STATIS

Gerak statis pada riser yang ditinjau adalah gerakan lateral, yaitu gerakan yang arahnya horisontal dalam hal ini dapat diwakili oleh sumbu x. Walaupun kedudukan relatif riser tidak berubah atau berpindah terhadap struktur atau wellhead karena pada ujung - ujung riser terdapat pengikatan yang merupakan kondisi batas riser. Tetapi bila ditinjau dari elemen - elemen bila riser dibagi menjadi elemen - elemen kecil sepanjang bentangan riser searah dengan sumbu x, maka masing - masing elemen tersebut bergerak terhadap posisi centerline (garis vertikal dari wellhead). Bila peninjauan gerak lateral tersebut berdasarkan riser seutuhnya, gerak masing - masing elemen ditunjukkan dengan displasemen atau lendutan pada riser.

Gerak lateral riser statis tersebut disebabkan adanya beban lateral dalam fluida yang konstan dan kontinu. Beban lateral tersebut timbul karena adanya aliran dalam fluida dengan kecepatan konstan yang mengenai suatu luasan yang biasanya disebut gaya drag, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2 \quad (3.1)$$

dimana, ρ = massa jenis fluida

C_D = koefisien drag

A = luasan yang tegak lurus arah kecepatan

v = kecepatan arus

Bila gaya drag tersebut mengenai riser dengan peninjauan untuk satu satuan panjang maka luasan A dapat diganti dengan D , yang merupakan luasan proyeksi riser dengan lebar proyeksi D dan tinggi (panjang) proyeksi satu satuan panjang. Dengan demikian pers. (3.1) menjadi :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D v^2 \quad (3.2)$$

Karena adanya beban lateral dari gaya drag ini, maka akan terjadi lenturan pada riser seperti yang dijelaskan di atas. Karena sifat elastisitas material riser, riser akan cenderung lurus bila riser dilengkungkan karena adanya kekakuan lengkung dari material riser. Disamping itu adanya gaya tarikan ke atas (Top tension) yang merupakan gaya aksial pada riser, dimana gaya ini juga melakukan perlawanan terhadap gaya lateral pada riser sehingga riser cenderung untuk selalu lurus. Sehingga gaya tersebut bergabung untuk melawan gaya drag, hubungan antara gaya drag yang merata sepanjang balok dengan gaya-gaya perlawanan dari dalam balok dapat ditunjukkan dalam persamaan :

$$EI \frac{d^4 x}{dz^4} + P \frac{d^2 x}{dz^2} = q$$

Dengan q adalah gaya terdistribusi sepanjang riser karena bervariasinya kecepatan arus terhadap kedalaman perairan, maka persamaan menjadi :

$$EI \frac{d^4 x}{dz^4} + P \frac{d^2 x}{dz^2} = F_D(z) \quad (3.3)$$

dimana $F_D(z)$ adalah gaya drag pada suatu titik di kedalaman tertentu pada riser. Sedangkan P adalah gaya tarikan ke atas (Top tension) atau biasanya dipakai notasi T , dimana gaya ini selain melawan gaya lengkung riser yang lebih utama adalah untuk mengimbangi gaya berat riser itu sendiri.

Substitusi pers. (3.3) dengan pers. (3.2) didapatkan persamaan gerak lateral riser statis sebagai berikut :

$$EI \frac{d^4 x}{dz^4} + P \frac{d^2 x}{dz^2} = \frac{1}{2} \rho C_D D v^2 \quad (3.4)$$

Seperti telah dinyatakan sebelumnya bahwa kecepatan arus untuk setiap kedalaman sepanjang riser adalah tidak sama besarnya, maka untuk menyatakan bahwa kecepatan arus yang menimbulkan gaya drag tersebut bervariasi menurut kedalaman dari persamaan gerak lateral riser statis didasarkan pada pembagian elemen-elemen sepanjang riser sehingga persamaan menjadi :

$$EI(z)\frac{d^4x}{dz^4} + P(z)\frac{d^2x}{dz^2} = \frac{1}{2}\rho C_D D(z)v(z)^2 \quad (3.5)$$

atau

$$EI(z)\frac{d^4x}{dz^4} + T(z)\frac{d^2x}{dz^2} = \frac{1}{2}\rho C_D D(z)v(z)^2 \quad (3.6)$$

III.2. PERSAMAAN GERAK LATERAL RISER DINAMIS

Kedinamisan dalam gerak lateral riser disebabkan karena adanya parameter yang selalu berubah terhadap waktu. Parameter tersebut adalah kecepatan dan percepatan partikel fluida. Perubahan pada parameter ini seperti ditunjukkan dalam perubahan permukaan yang membentuk kontur gelombang. Kecepatan dan percepatan partikel fluida tersebut diwujudkan dalam gerakan fluida.

Gerakan partikel fluida akibat kecepatan dan percepatan yang selalu berubah menurut waktu tersebut, berpengaruh terhadap setiap benda yang berada di dalam fluida. Hal tersebut merupakan perwujudan dari sifat fluida yang selalu akan memberikan reaksi terhadap aksi dari luar misalnya tekann dari luar. Demikian pula bila gerakan partikel fluida terganggu oleh suatu benda, maka pada fluida akan timbul perlawanan terhadap benda.

Secara teoritis, menurut teori gelombang linier, kecepatan gerakan partikel fluida didapatkan dari kecepatan potensial fluida. Kecepatan potensial fluida pada prinsipnya mengandung semua parameter gelombang yaitu meliputi tinggi gelombang, panjang gelombang, periode gelombang dan kedalaman perairan.

Dengan mengacu pada peninjauan riser seperti dalam pembahasan sebelumnya yang digambarkan dalam koordinat dua dimensi yaitu sumbu z (vertikal) dan sumbu x (horisontal), kecepatan partikel juga diturunkan ke dalam dua arah tersebut. Tetapi untuk kecepatan vertikal yang sejajar dengan bentangan riser, dalam perhitungan dijadikan satu dengan top tension dan gaya berat riser disamping itu harganya juga relatif konstan, maka yang ditinjau lebih jauh adalah kecepatan lateral pada arah sumbu x . Kecepatan lateral partikel fluida ini bervariasi menurut kedalaman, hal ini sesuai dengan pembagian elemen kecil riser pada arah sumbu z . Variasi kecepatan lateral partikel fluida ini ditunjukkan dengan adanya parameter ketinggian dari dasar dan parameter kedalaman perairan. Variasi dari kecepatan partikel fluida tersebut berubah secara eksponensial. Jadi dalam hal ini kecepatan lateral partikel fluida adalah bervariasi terhadap waktu dan posisi (ketinggian dari dasar/kedalaman).

Besarnya reaksi (gaya) karena terganggunya gerakan partikel fluida oleh benda tersebut tergantung dari besar gangguan benda terhadap gerak partikel fluida yang sebanding dengan besar benda atau luas permukaan benda yang menghalangi datangnya kecepatan partikel fluida. Fenomena ini lebih dikenal sebagai gaya drag seperti yang sudah dinyatakan sebelumnya, yaitu sebagai berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D |v| |v|$$

Perbedaan gaya drag di atas dengan gaya drag untuk gerak lateral riser statis adalah bahwa gaya drag pada gerak lateral riser dinamis selalu berubah menurut perubahan waktu baik dalam arah maupun besarnya sesuai dengan perubahan arah dan besar kecepatan partikel fluida.

Dalam gerak dinamis lateralriser, perlu juga ditinjau percepatan partikel fluida yang juga bervariasi terhadap waktu dan kedalaman. Berdasarkan sifatnya yang seperti kecepatan, yaitu bervariasi menurut waktu dan kedalaman maka untuk perhitungan dan analisa pengaruh percepatan fluida berdasarkan peninjauan menurut pembagian riser menjadi elemen kecil-kecil juga bisa dilakukan. Untuk mendapatkan percepatan partikel fluida pada dasarnya juga didapatkan dari kecepatan potensial, yaitu diturunkan dari kecepatan partikel fluida yang juga didapat dari penurunan kecepatan potensial.

Pengaruh percepatan fluida pada benda adalah didasarkan pada persamaan Newton II yaitu massa x percepatan. Jadi dalam hal ini besar gaya yang timbul didasarkan pada volume benda atau massa benda. Gaya yang diakibatkan oleh percepatan partikel fluida tersebut biasanya disebut gaya inersia (F_I) yang dapat ditunjukkan sebagai persamaan sebagai berikut :

$$F_I = m \times a \tag{3.7}$$

dimana, m = massa volume fluida sebesar volume benda

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Untuk benda berbentuk silinder (riser) dengan panjang satu satuan panjang :

$$m = \rho \pi r^2$$

$$m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (3.8)$$

jadi

$$F_I = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D^2}{4} \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (3.9)$$

Berdasarkan konsep massa tambah, yaitu adanya sebagian fluida yang mengikuti gerakan benda, maka pengaruh ini juga perlu dimasukkan dalam perhitungan. Hal ini dapat dibuktikan dalam persamaan morrison untuk gaya yang bekerja pada benda dalam fluida yaitu :

$$F_T = F_D + F_I$$

$$F_T = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D D(z) |v| |v| + \frac{\rho \pi \cdot D^2}{4} C_m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

bila ditinjau pada suatu elemen kecil riser dx , maka :

$$dF_T = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D D(z) |v| |v| + \frac{\rho \pi D}{4} C_m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (3.10)$$

Gaya dari riser itu sendiri yang melakukan perlawanan terhadap beban dinamis dari luar, didapatkan analog dengan persamaan gerak lateral riser statis dengan penambahan gaya inersia (massa \times percepatan) dan beban merata dari luar adalah fungsi waktu $q(t)$, persamaan lenturan riser menjadi :

$$M(z) \frac{d^2 x}{dt^2} + EI(z) \frac{d^4 x}{dz^2} + T(z) \frac{d^2 x}{dz^2} = q(t) \quad (3.11)$$

Gaya perlawanan dari balok seperti ditunjukkan dengan persamaan di atas besarnya adalah sama dengan gaya pada benda dalam fluida menurut persamaan morrison yang ditulis di atas :

$$dF_T = q(t)$$

maka substitusi persamaan (3.10) dan (3.11) didapatkan persamaan berikut :

$$M(z) \frac{d^2 x}{dt^2} + EI(z) \frac{d^4 x}{dz^2} + T(z) \frac{d^2 x}{dz^2} =$$

$$\frac{1}{2} \rho \cdot C_D D(z) |v| |v| + \frac{\rho \pi D}{4} C_m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

atau

TUGAS AKHIR



" Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi,
dan silih bergantinya malam dan siang
terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang menggunakan fikiran. "

(Yaitu) orang-orang yang senantiasa dzikrullah (mengingat Allah)
sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka
memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata) :

" Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau ciptakan ini dengan sia-sia.
Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa api neraka. "

(Q.S. Ali-Imran : 190-191)

TUGAS AKHIR



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Cipta Karya

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada tahap perhitungan dalam Analisa Dinamis Untuk Riser Pada Drillship Akibat Gerakan Surge ini adalah melakukan beberapa perhitungan dengan beberapa kondisi yang berbeda. Hal ini dimaksudkan agar dari perhitungan didapatkan beberapa keluaran (output) yang selanjutnya dapat dianalisa sehingga dapat ditemukan perbandingan dari masing-masing kondisi yang ditentukan.

Sehubungan dengan hal tersebut bahwa perhitungan yang dilakukan adalah dilakukan beberapa kali dengan kondisi yang berbeda, maka perlu disusun suatu bentuk perhitungan yang efektif untuk melaksanakan pekerjaan ini. Untuk keperluan itu maka perlu disusun suatu program komputer untuk memenuhi perhitungan yang diperlukan, dimana dengan memberikan masukan (input) yang berbeda sesuai dengan yang dimaksudkan, didapatkan keluaran (output) dari masing-masing perhitungan. Dengan demikian hasil perhitungan akan diperoleh lebih cepat dibanding secara manual.

Disamping itu agar hasil perhitungan yang didapatkan lebih teliti dan lebih mudah dalam transformasi ke program komputer, maka metode yang dipakai didasarkan pada prinsip metode elemen hingga. Dengan memakai prinsip matriks sebagai perhitungan numerik yang menjadi dasar metode elemen hingga, hal ini lebih mudah ditransformasikan ke program komputer.



IV.1. PENDEKATAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Salah satu cara yang dipakai dalam metode elemen hingga adalah metode langsung, yaitu metode yang dipakai dalam menurunkan persamaan dalam metode elemen hingga berdasarkan pada prinsip energi. Seringkali dilakukan oleh beberapa penulis, seperti *Weinstock*, dengan menunjukkan hubungan (ekuivalensi) persamaan umum tentang peminimuman (minimize) energi total. Dapat ditunjukkan di bawah ini energi total (ET) dari suatu segmen balok yang seragam, yaitu dengan panjang l :

$$\begin{aligned} ET &= U + KE \\ &= \frac{1}{2} \int_0^l \left[EI(x'')^2 + (T_0 + T')(x')^2 + M(\dot{x})^2 \right] dz \end{aligned}$$

dimana, U = Strain Energi

KE = Energi Kinetik

Dari persamaan (3.12) yaitu tentang gerak lateral riser dinamis, untuk perhitungan dalam analisa dinamis riser terdapat satu elemen gaya perlu diperhitungkan sehubungan dengan berat merata struktur persatuan panjang, yang memakai simbol T , sedangkan untuk gaya aksial sehubungan dengan top tension yang terdapat dalam persamaan dipakai notasi T_0 , sehingga persamaan (3.12) menjadi :

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + EI \frac{d^4 x}{dz^4} + T_0 \frac{d^2 x}{dz^2} + T \frac{dx}{dz} =$$

$$\frac{1}{2} \rho C_D D \left| \frac{dx}{dt} \right| \left| \frac{dx}{dt} \right| + \frac{\rho \pi D^2}{4} C_m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (4.2)$$

Dengan memasukkan semua faktor yang berpengaruh dalam gerak dinamis riser, diturunkan persamaan umum yang lengkap, seperti yang ditulis dalam ‘*Mechanics of Wave Force on Offshore Structures*’ dalam pembahasan masalah analisa dinamis riser, yaitu :

$$\left\{ \rho p \cdot A_p + \frac{\pi}{4} [\rho m d i^2 + (C_m - 1) \rho w \cdot d h^2] \right\} \ddot{x} + EI \cdot x'''' -$$

$$\left\{ \frac{g \pi}{4} [\rho w (h w - z) d b^2 - \rho m (h m - z) d i^2] + T_p \right\} x'' -$$

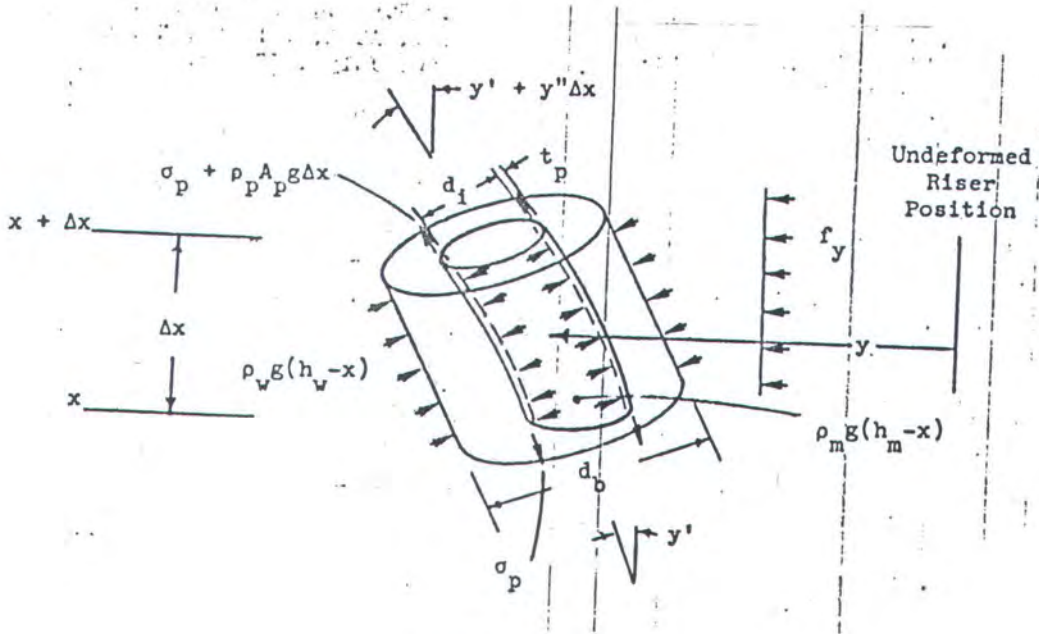
$$\left[\frac{g \pi}{4} (\rho m d i^2 - \rho w \cdot d b^2) + \rho p \cdot A_p \cdot g \right] x' = F_x \quad (4.3)$$

dimana F_x adalah gaya horisontal (lateral) akibat gelombang dan arus yang diturunkan dengan persamaan Morrison's.

Untuk lebih jelasnya ditunjukkan satu elemen dari model elemen hingga dengan keseimbangan gaya yang memasukkan semua faktor seperti yang tunjukkan dalam pers. (4.3), yaitu ditunjukkan dalam gambar (4.1.1).

Dengan menyatakan massa persatuan panjang riser dengan M , maka dari persamaan (4.3) di atas didapat M :

$$M = \rho_p \cdot A_p + \frac{\pi}{4} [\rho_m \cdot d_i^2 + (C_m - 1) \rho_w \cdot d_h^2] \quad (4.4)$$



Gambar (4.1.1)

Analog dengan massa persatuan panjang di atas, demikian juga dengan gaya aksial pada riser :

$$T_0 = \frac{g\pi}{4} [\rho_w (h_w - z) d_b^2 - \rho_m (h_m - z) d_i^2] + T_p \quad (4.5)$$

$$T = \frac{g\pi}{4} (\rho_m d_i^2 - \rho_w d_b^2) + \rho_p A_p g \quad (4.6)$$

Sehingga persamaan (4.3) menjadi :

$$M \ddot{X} + EI X'''' - T_0 X'' - T X' = f_x \quad (4.7)$$

atau dapat juga dinyatakan :

$$M \ddot{X} + EI X'''' - \frac{d}{dz} [(T_0 - T'z)X'] = F_x \quad (4.8)$$

Dari persamaan (4.8) dapat diturunkan persamaan energi total persis sama seperti persamaan (4.1).

Dengan memakai prinsip energi minimum, disusun matriks kekakuan elemen, untuk itu perlu mentransformasikan sistem koordinat kedalam sistem koordinat diskrit. Variabel x ditransformasikan pada setiap titik z , sepanjang balok dengan menjabarkan x sebagai penjumlahan dari empat fungsi deformasi φ_i . Sedang amplitudo dari φ_i dinyatakan sebagai q_i , dengan demikian memungkinkan untuk transformasi sistem koordinat ke dalam sistem koordinat diskrit. Untuk sistem deformasi yang umum dipakai adalah menggunakan empat fungsi deformasi yang terdiri dari unit displasemen dan unit rotasi dari kedua ujung balok. Pemakaian notasi q_i untuk amplitudo dalam sistem deformnasi ditunjukkan oleh koordinat $x_1, \theta_1, x_2, \theta_2$.

Penggunaan prinsip energi minimum dipakai untuk menyusun persamaan yang selanjutnya untuk menyusun matriks massa dan matriks kekakuan elemen. Substitusi persamaan ekspresi polinomial dari fungsi deformasi menyatakan substitusi i yang menunjukkan matriks elemen untuk elemen ke i dari model elemen hingga. Untuk matriks kekakuan elemen, untuk elemen ke i adalah

merupakan penjumlahan dari K yaitu matriks kekakuan elemen yang mengandung unsur EI dan τ yang mengandung unsur T_0 dan τ' yang mengandung unsur $T'z$. Sedang untuk matriks kekakuan sistem maupun matriks massa sistem adalah merupakan penjumlahan dari matriks kekakuan dan matriks massa masing-masing elemen dimana untuk matriks kekakuan elemen adalah penjumlahan dari matriks yang mengandung ketiga unsur tadi, yaitu dengan menjumlahkan elemen-elemen matriks dari masing-masing elemen balok pada titik-titik yang bersesuaian.

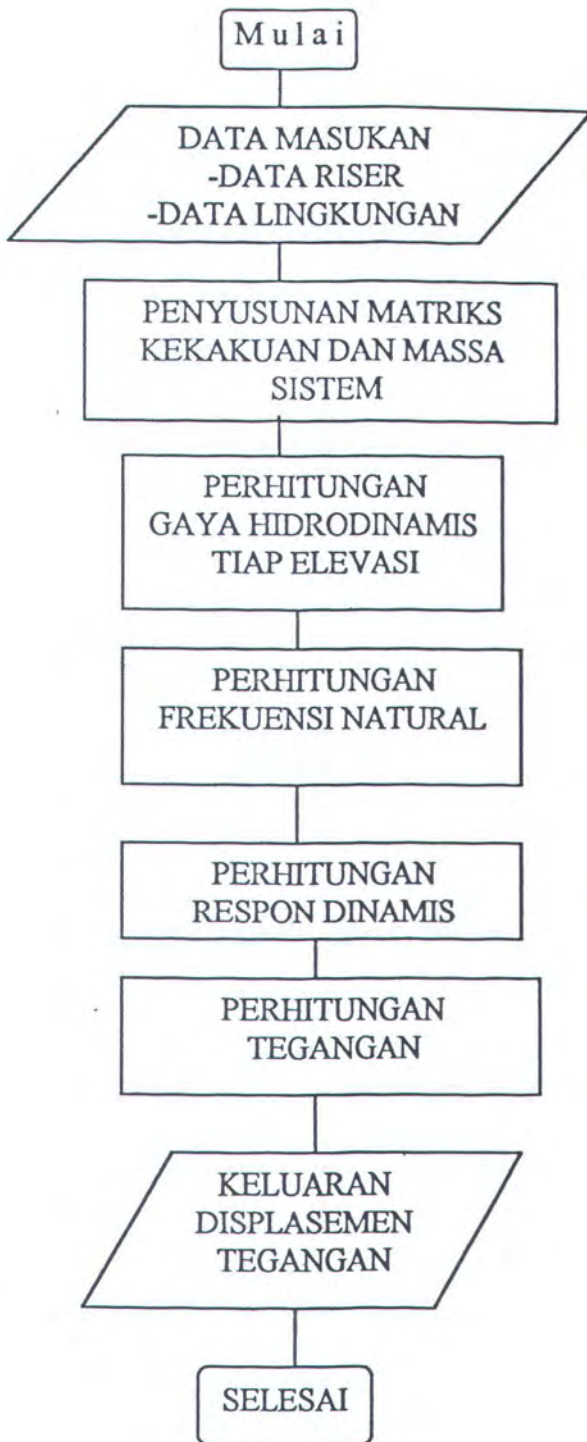
Penurunan persamaan untuk membentuk matriks massa dan matriks kekakuan elemen, demikian pula penyusunan matriks massa dan kekakuan sistem, secara rinci dan sistematis ditunjukkan dalam lampiran I.

IV.2. PENDEKATAN DENGAN PROGRAM KOMPUTER

Tahap utama dalam menyelesaikan masalah analisa dinamis untuk riser pada drillship akibat gerakan surge adalah analisa hasil keluaran perhitungan dengan program komputer. Analisa ini didasarkan pada beberapa masukan untuk beberapa kondisi yang berbeda.

Rencana skematis perhitungan dengan program komputer dapat digambarkan dalam diagram aliran sebagai berikut





IV.3. ANALISA HASIL PERHITUNGAN KOMPUTER

Untuk perhitungan dengan program komputer, data masukan yang menjadi patokan, yang selanjutnya disebut data standar adalah sebagai berikut :

* Data riser

- Panjang	=	1280,00 ft (390.4 m)
- Diameter luar	=	21,00 inchi (53.375 cm)
- Tebal pipa riser	=	0,50 inchi (1.27 cm)
- Berat jenis	=	1240.184 lb/ft ³ (1989.869 Kg/m ³)
- Modulus elastisitas	=	29.000,00 ksi (128997.8 KPa)
- Pembagian elemen	=	25,00

* Data lingkungan

- Tinggi gelombang	=	24 feet (7.32 m)
- Periode gelombang	=	11,00 feet
- Panjang gelombang	=	405.75 feet (123.75 m)
- Arus di permukaan	=	1.80 ft/det (0.549 m/det)
- Arus pada ball joint	=	0.274 ft/det (0.2745 m/det)
- Berat jenis	=	63,94 pcf (1024.223 Kg/m ³)

* Data tambahan

- Berat jenis lumpur	=	90.7 lb/ft ³ (1450.012 Kg/m ³)
- Top tension	=	300000lbs (1334460 N)
- Koefisien drag	=	1,20
- Koefisien massa	=	2,00

Yang dimaksud dengan analisa perhitungan dengan komputer adalah analisa hasil keluaran program perhitungan dengan komputer yang disusun berdasarkan perumusan masalah. Dari beberapa faktor (parameter) yang berpengaruh terhadap perhitungan respon dan tegangan riser diambil dua parameter yang meliputi berat jenis lumpur dan top tension. Masing-masing parameter yang divariasi tersebut, diambil 5 harga tertentu .

Analisa yang dilakukan adalah berdasarkan grafik yang disusun dari 4 hasil keluaran perhitungan komputer untuk masing-masing harga setiap parameter yang divariasi tersebut. Hal ini dimaksudkan agar lebih mudah dalam pengamatan (analisa) dibandingkan analisa terhadap hasil yang masih berupa tabel hasil keluaran program.

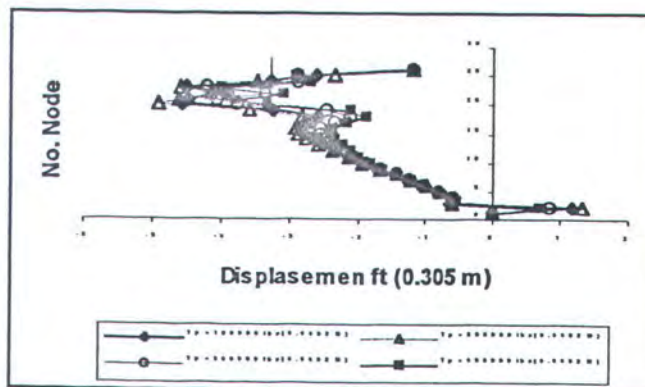
IV.3.1. Analisa hasil perhitungan untuk data masukan bervariasi terhadap top tension

Top tension adalah gaya yang bekerja searah bentangan riser atau dengan kata lain top tension adalah gaya yang dimaksudkan untuk melawan gaya berat riser sehingga beban pada balljoint tidak terlalu besar. Dengan pertimbangan tersebut maka harga top tension yang diambil adalah berdasarkan berat bentangan riser atau berat riser persatuan panjang dikalikan panjang riser. Untuk data standar, top tension diambil 300000 lbs (1334460 N) yang tentunya lebih besar dari berat keseluruhan riser itu sendiri. Sedangkan untuk keperluan analisa,

juga dihitung tegangan dan displasemen untuk top tension dibawah dan diatas top tension standar.

IV.3.1.1. Displasemen

Displasemen yang terjadi pada riser untuk masing-masing top tension mengalami perbedaan yang tidak terlalu besar. Hal ini ditunjukkan dengan rapatnya grafik untuk masing-masing top tension yang berbeda. Hal ini karena top tension hanya berpengaruh pada matriks kekakuan, dan walaupun displasemen juga berhubungan erat dengan matriks kekakuan, tetapi untuk perubahan dari masing-masing top tension yang tidak terlalu besar, maka perbedaan displasemen yaang terjadi juga tidak besar.

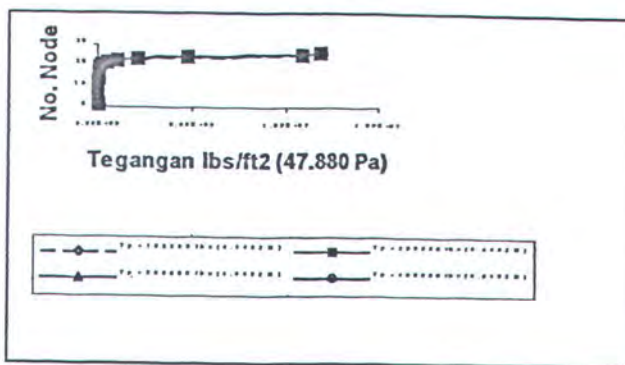


Gambar IV.2. Displasemen akibat variasi top tension

Untuk node 9 pada masing –masing variasi top tension 444810 N, 889640 N, 1334460 N dan 1779280 N mempunyai harga displasemen -0.5127 m, -0.5091 m, -0.506 m, -0.496 m.

IV.3.1.2. Tegangan

Tegangan yang terjadi pada riser untuk variasi top tension adalah sama besarnya, baik untuk harga top tension di bawah harga top tension standar maupun harga top tension di atas harga top tension standar. Hal ini karena harga top tension tidak berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada tiap node dan tiap kedalaman berbeda juga tidak menimbulkan harga tegangan yang berbeda pula.



Gambar IV.3. Tegangan akibat variasi top tension.

Besarnya tegangan untuk masing-masing top tension pada node 12 sebesar 1048686.912 Pa.

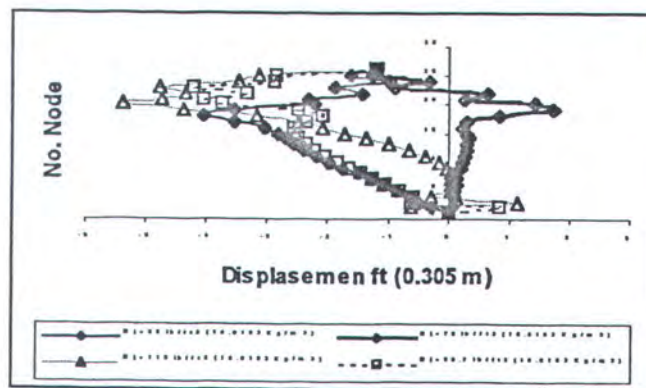
IV.3.2. Analisa hasil perhitungan untuk data masukan bervariasi terhadap berat jenis lumpur.

Lumpur yang dimaksud di sini adalah lumpur yang memang dibuat untuk keperluan operasi (drilling). Karena lumpur yang dimaksudkan tersebut (drill mud) dimanfaatkan karena berat jenisnya yang tinggi, maka berat jenis lumpur untuk analisa ini juga besar atau paling tidak lebih besar dari pada berat jenis

tanah (lumpur) alam. Berat jenis lumpur untuk analisa ini adalah 800.915 Kg/m^3 , 1121.281 Kg/m^3 , 1442.768 Kg/m^3 dan 1762.013 Kg/m^3 .

IV.3.2.1 Displasemen

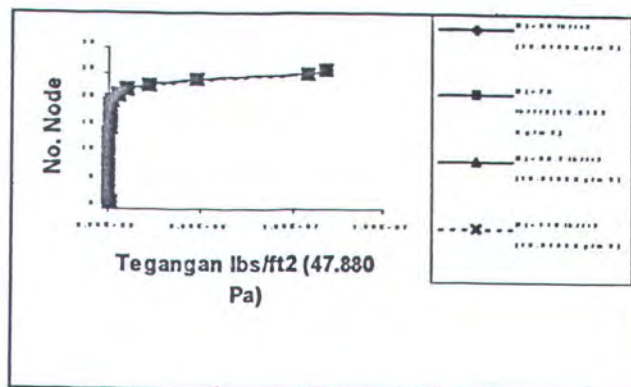
Bentuk grafik dari displasemen yang terjadi untuk empat kondisi berat jenis lumpur yang berbeda menunjukkan harga displasemen yang berbeda-beda pula. Seperti pada variasi top tension, hal ini disebabkan karena berat jenis lumpur hanya berpengaruh pada matrik massa sehingga untuk perubahan harga dari masing-masing berat jenis lumpur yang tidak terlalu besar, maka perbedaan displasemen juga tidak terlalu besar.



Gambar. IV.4. Displasemen akibat variasi berat jenis lumpur

IV.3.2.2. Tegangan.

Tegangan yang terjadi dari masing – masing data berat jenis lumpur yang berbeda tidaklah menunjukkan perbedaan yang berarti atau dapat dikatakan memang benar-benar sama. Hal ini seperti grafik tegangan untuk variasi top tension yang juga menunjukkan harga tegangan yang sama untuk masing – masing variasi di atas. Hal ini seperti pada variasi top tension, disebabkan karena berat jenis lumpur juga tidak berpengaruh langsung terhadap gaya yang timbul pada tiap – tiap node. Tegangan pada node 26 pada masing-masing variasi berharga $0.118 \times 10^8 \times 47.880 \text{ Pa}$.



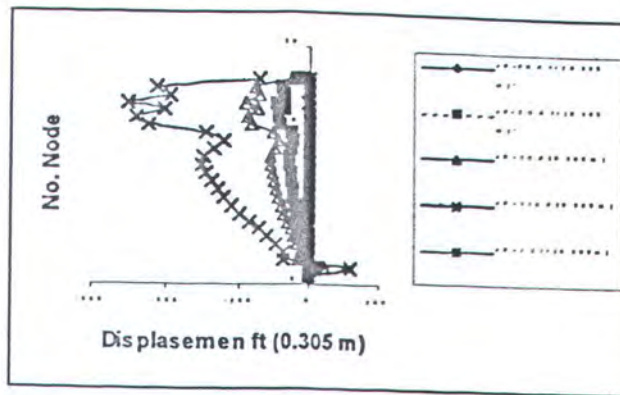
Gambar.IV.5. Tegangan akibat variasi berat jenis lumpur

IV.3.3. Analisa hasil perhitungan data masukan bervariasi terhadap perpindahan statis.

Perpindahan statis yang dimaksud adalah perpindahan struktur drillship akibat pengaruh gelombang dan arus. Agar supaya pergerakan drillship tidak membahayakan perlengkapan yang ada di atas drillship maupun di bawahnya termasuk riser, maka perpindahan statis drillship yang masih diijinkan adalah sebesar 5% kedalaman air laut atau sama dengan 20.3435 m dari sumbu netral. Untuk analisa displasemen dan tegangan maka perpindahan statis divariasi sebesar 0%, 2%, 4% dan 11% kedalaman air laut .

IV.3.3.1 Displasemen.

Displasemen yang terjadi pada riser untuk masing-masing variasi perpindahan statis cukup besar, hal ini karena sumbu yang diambil adalah sumbu netral yang tegak lurus dasar laut. Untuk variasi 0% kedalaman harga displasemen sebenarnya tidak seluruhnya berharga nol tetapi kecil sekali dibandingkan yang lain, karena pengaruh skala maka gariknya tampak berhimpit dengan sumbu netral. Untuk node 1 dan node 6 sampai node 11 displasemennya berharga nol.

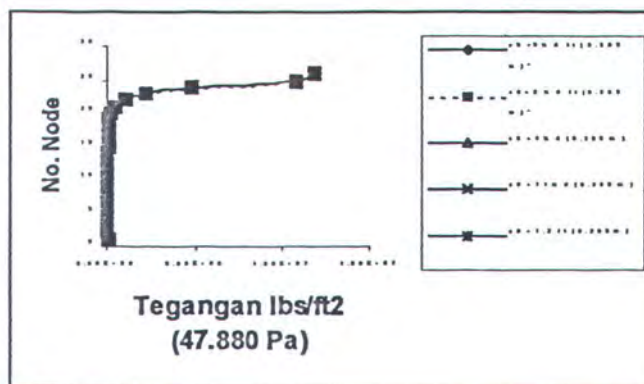


Gambar IV.6. Displasemen akibat variasi perpindahan statis

Displasemen untuk variasi perpindahan statis 2 % kedalaman cukup besar hal ini disebabkan karena displasemen dihitung dari sumbu netral. Untuk node 23 displasemennya paling besar dibanding node yang lainnya yaitu sebesar -91.41 ft (-27.88 m). Demikian juga dengan variasi 4% kedalaman, harga displasemen yang terjadi cukup besar tetapi masih dalam batas-batas yang diijinkan. Untuk variasi 11 % kedalaman displasemen yang terjadi jauh lebih besar dibandingkan variasi yang lainnya. Hal ini bisa dilihat dari gambar IV.6 dimana harga displasemen yang besar ini dikhawatirkan akan mempengaruhi keamanan dan kelancaran operasi.

IV.3.3.2. Tegangan

Tegangan yang terjadi karena variasi dari masing-masing perpindahan statis tidak menunjukkan perbedaan yang berarti atau bisa dikatakan sama. Hal ini bisa dilihat dengan berhimpitnya grafik tegangan untuk setiap variasi perpindahan statis. Berhimpitnya grafik tegangan untuk setiap variasi ini disebabkan karena perpindahan statis tidak mempengaruhi secara langsung terjadinya tegangan pada setiap node pada riser. Untuk node 13 pada masing-masing variasi perpindahan statis 0%, 2% 4%, 11% kedalaman dan perpindahan statis 0.336 m adalah 2384424 Pa.



Gambar.IV.7. Tegangan akibat variasi top tension

TUGAS AKHIR



Janganlah engkau ikuti apa yang
tiada engkau ketahui. Sesungguhnya
pendengaran, penglihatan, dan perasaan hati
masing-masing akan dimintai pertanggungjawaban.

(Q.S. Al Isra: 36)

TUGAS AKHIR



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Cipta Karya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Frekuensi natural yang diperoleh dari hasil perhitungan dipakai sebagai bantuan untuk menentukan harga selang waktu tiap – tiap tahap integrasi pada perhitungan untuk mendapatkan respon dinamis.
2. Untuk variasi top tension yang meliputi harga 444810 N, 889640 N, 1334460 N, 1779280 N, pengaruhnya terhadap displasemen tidak terlalu besar. Sedangkan terhadap tegangan tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan karena top tension tidak banyak berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada tiap node, tetapi hanya berpengaruh terhadap kekakuan (matriks kekakuan) riser. Itupun pengaruhnya tidak terlalu besar.
3. Untuk variasi berat jenis lumpur dari 800.915 Kg/m³, 1121.281 Kg/m³, 1442.768 Kg/m³, 1762.013 Kg/m³, pengaruhnya terhadap displasemen dan tegangan menyerupai pengaruh dari variasi top tension. Kedua variasi tersebut hampir tidak ada pengaruhnya terhadap tegangan yang timbul karena tidak berpengaruh pada gaya yang timbul pada tiap node.

4. Untuk variasi statis offset atau perpindahan statis dari drillship sebesar 0%, 2% dan 4% kedalaman air laut, perubahan displasemen yang terjadi masih dalam batas-batas yang masih diijinkan. Sedangkan untuk perpindahan statis 11% kedalaman air laut, perubahan displasemen yang terjadi terlalu besar sehingga akan membahayakan dan mengganggu kelancaran operasi.

V.2. SARAN

Untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati sebenarnya beberapa hal disarankan sebagai berikut :

1. Melakukan metode penelitian dengan mempertimbangkan gaya – gaya yang bekerja pada drillship serta gaya mooring yang membatasi pergerakan dari drillship tersebut.
2. Melakukan proses pembagian elemen yang lebih banyak, karena dengan jumlah elemen yang lebih banyak akan didapatkan hasil yang lebih mendekati sebenarnya.

TUGAS AKHIR



DAFTAR PUSTAKA

Cipta Karya



DAFTAR PUSTAKA

Bathe and Wilson (1976), **Numerical Method in Finite Element Analysis**,
Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Chakrabarti, S.K., (1987), **Hydrodynamics of Offshore Structure**,
Computational Mechanics Publ. Southampton, Boston.

Clinton, G. Gosse and Barksdale, G.L (1969), **The Marine Riser A Procedures
for Analysis**, Offshore Technology Conference, Houston Texas, Paper number
OTC 1080

Craig, R. W. , **Structural Dynamics an Introduction to Computer Method**,
Departement of Aerospace Engineering and Engineering Mechanics,
University of texas at Ausyin.

Dawson, Thomas H.(1979), **Offshore Structural Engineering**, Prentice Hall,
Inc.

ETA Offshore Seminar, **The Technology of Offshore Drilling Completion and
Production**, ETA Offshore Seminar, Inc.

Gardner, T. N. and Koch, M. A., (1976), **Dynamics Analysis of Riser and Caissons by The Element Method**, Offshore Technology Conference, Houston Texas, Paper number 2651.

Sarpkaya, T., Isaacson, M., (1981), **Mechanics of Wave Force on Offshore Structure**, Van Nostrand Reinhold Company, New York



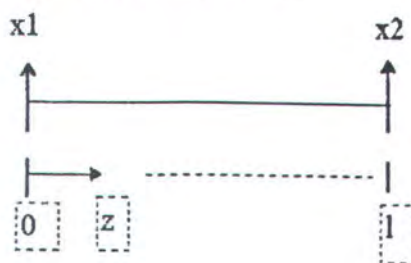
LAMPIRAN A

PENURUNAN MATRIKS KEKAKUAN DAN MASSA

Cipta Karya

PENURUNAN MATRIKS KEKAKUAN DAN MATRIKS MASSA

Langkah pertama yang dilakukan dalam penyusunan matriks kekakuan dan matriks massa dengan metode elemen hingga adalah mentransformasikan sistem koordinat kedalam sistem koordinat diskrit :



dari skema di atas dapat disusun fungsi displasemen yang dipakai untuk derivasi matriks elemen, fungsi displasemen tersebut adalah :

koordinat	fungsi bentuk
x_1	φ_1
x_2	φ_2
x_3	φ_3
x_4	φ_4

sehingga fungsi displasemen x dapat dinyatakan sebagai persamaan :

$$x = \sum_{i=1}^4 \varphi_i q_i$$

dimana q adalah mewakili unit koordinat $x_1, \theta_1, x_2, \theta_2$, sedang φ adalah merupakan fungsi bentuk (shape function).

Dari diktat kuliah metode elemen hingga diperoleh :

$$[\varphi] = [\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4]$$

$$[\varphi] = \frac{1}{L} \left[\left(1 - \frac{3z^2}{L^2} + \frac{2z^3}{L^3}\right) \quad \left(z - \frac{2z^2}{L} + \frac{z^3}{L^2}\right) \quad (3Lz^2 - 2z^3) \quad \left(-\frac{z^2}{L} + \frac{z^3}{L^2}\right) \right]$$

atau

$$[\varphi] = \frac{1}{L^3} [L^3 - 3Lz^2 + 2z^3 \quad L^3z - 2L^2z^2 + Lz^3 \quad 3Lz^2 - 2z^3 \quad -L^2z^2 + Lz^3]$$

Ditinjau lagi total energi dari persamaan (4.1)

$$ET = U + KE$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^L \left[EI(x'')^2 + (T_0 + T'z)(x')^2 + M(\dot{x})^2 \right] dz$$

dapat diturunkan persamaan untuk matriks massa yaitu :

$$M_{ij} = \frac{\partial^2 KE}{\partial q_i \partial q_j} = M \int_0^L \varphi_i \varphi_j \quad dz \quad (*)$$

dimana : $\varphi_i = [\varphi]$ sedang,

$$\varphi_j = [\varphi]^T$$

Kemudian untuk persamaan matriks kekakuan adalah :

$$\begin{aligned}
K_{ij} &= \frac{\partial^2 U}{\partial q_i \partial q_j} \\
&= EI \int_0^1 \varphi_i'' \varphi_j'' dz + T_0 \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' dz + T \int_1^0 \varphi_i' \varphi_j' z dz \quad (*.2)
\end{aligned}$$

Matriks Massa

Dari persamaan (*.1)

$$[M] = M_{ij} = M \int_0^1 \varphi_i \varphi_j dz$$

dimana :

$$\varphi_i = [\varphi] = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ \varphi_4]$$

$$\varphi_j = [\varphi]^T = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix}$$

maka matriks massa adalah :

$$[M] = M_{ij} = M \int_0^1 [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ \varphi_4] \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix} dz$$

$$= \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix}$$

$$= M \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1 \varphi_1 & \varphi_1 \varphi_2 & \varphi_1 \varphi_3 & \varphi_1 \varphi_4 \\ \varphi_2 \varphi_1 & \varphi_2 \varphi_2 & \varphi_2 \varphi_3 & \varphi_2 \varphi_4 \\ \varphi_3 \varphi_1 & \varphi_3 \varphi_2 & \varphi_3 \varphi_3 & \varphi_3 \varphi_4 \\ \varphi_4 \varphi_1 & \varphi_4 \varphi_2 & \varphi_4 \varphi_3 & \varphi_4 \varphi_4 \end{bmatrix} dz$$

untuk satu elemen matriks :

$$M_{11} = M \int_0^1 \varphi_1 \varphi_1 dz$$

dimana, $\varphi_1 = \frac{1}{L} (L^3 - 3Lz^2 + 2z^3)$, jadi

$$\begin{aligned} M_{11} &= M \int_0^1 \frac{1}{L^4} (L^3 - 3Lz^2 + 2z^3) (L^3 - 3Lz^2 + 2z^3) dz \\ &= \frac{M}{L^4} \int_0^1 (L^6 - 6L^4z^2 + 4L^3z^3 + 9L^2z^4 - 12Lz^5 + 4z^6) dz \\ &= \frac{M}{L^4} \left| L^6z - 2L^4z^3 + L^3z^4 + \frac{9}{5}L^2z^5 - 2Lz^6 + \frac{4}{7}z^7 \right|_0^1 \\ &= \frac{M}{L^4} \left(\frac{13}{35} L^7 \right) \end{aligned}$$

untuk satu elemen (segmen balok) dengan $l = L$, maka :

$$M_{11} = \frac{13}{35} ML$$

Analog dengan perhitungan M_{11} , maka untuk elemen M_{ij} yang lain akan didapatkan :

$$[M] = \frac{ML^3}{35} \begin{bmatrix} \frac{13}{L^2} & \frac{11}{6L} & \frac{9}{2L^2} & \frac{-13}{12L} \\ & \frac{1}{3} & \frac{13}{12L} & \frac{-1}{4} \\ & & \frac{13}{L^2} & \frac{-11}{6L} \\ \text{simetri} & & & \frac{1}{3} \end{bmatrix}$$

Matriks Kekakuan

Dari persamaan (*.2)

$$[K] = K_{ij} = EI \int_0^1 \varphi_i'' \varphi_j'' dz + T_0 \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' dz + T' \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' z dz$$

$$[K] = K_{ij} = [k] + [\tau] + [\tau']$$

$$[k] = k_{ij} = EI \int_0^1 \varphi_i'' \varphi_j'' dz$$

$$[\tau] = \tau_{ij} = T_0 \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' dz$$

$$[\tau'] = \tau_{ij}' = T' \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' z dz$$

* Matriks kekakuan yang unsur EI :

$$[k] = k_{ij} = EI \int_0^1 \varphi_i'' \varphi_j'' dz$$

$$\varphi_1' = [\varphi'] = [\varphi_1' \quad \varphi_2' \quad \varphi_3' \quad \varphi_4']$$

$$\varphi_1' = \frac{1}{L^3} [-6Lz + 6z^2 \quad L^3 - 4L^2z + 3Lz^2 \quad 6Lz - 6z^2 \quad -2L^2z + 3Lz^2]$$

$$\varphi_1'' = \frac{1}{L^3} [-6L + 12z \quad -4L^2 + 6Lz \quad 6L - 12z \quad -2L^2 + 6Lz]$$

$$[k] = k_{ij} = EI \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1'' & \varphi_2'' & \varphi_3'' & \varphi_4'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1'' \\ \varphi_2'' \\ \varphi_3'' \\ \varphi_4'' \end{bmatrix} dz$$

$$= \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix}$$

$$= EI \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1'' \varphi_1'' & \varphi_1'' \varphi_2'' & \varphi_1'' \varphi_3'' & \varphi_1'' \varphi_4'' \\ \varphi_2'' \varphi_1'' & \varphi_2'' \varphi_2'' & \varphi_2'' \varphi_3'' & \varphi_2'' \varphi_4'' \\ \varphi_3'' \varphi_1'' & \varphi_3'' \varphi_2'' & \varphi_3'' \varphi_3'' & \varphi_3'' \varphi_4'' \\ \varphi_4'' \varphi_1'' & \varphi_4'' \varphi_2'' & \varphi_4'' \varphi_3'' & \varphi_4'' \varphi_4'' \end{bmatrix} dz$$

$$k_{11} = EI \int_0^1 \varphi_1'' \varphi_1'' dz$$

$$= \frac{EI}{L^6} \int_0^1 [(-6L + 12z)(-6L + 12z)] dz$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{EI}{L^6} \int_0^l (36L^2 - 144Lz + 144z^2) dz \\
 &= \frac{EI}{L^6} \left[36L^2 z - 72Lz^2 + 48z^3 \right]_0^l
 \end{aligned}$$

$$k_{11} = \frac{EI}{L^6} (12l^3)$$

untuk segmen balok $l = L$

$$k_{11} = \frac{12EI}{L^3}$$

dengan cara yang sama maka akan didapatkan elemen-elemen matriks yang lain, sehingga menjadi :

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{12}{L^2} & \frac{6}{L} & \frac{-12}{L^2} & \frac{6}{L} \\ & 4 & \frac{-6}{L} & 2 \\ & & \frac{12}{L^2} & \frac{-6}{L} \\ \text{simetri} & & & 4 \end{bmatrix}$$

* Matriks kekakuan yang mengandung unsur T_0 :

$$[\tau] = \tau_{ij} = T_0 \int_0^l \varphi_i' \varphi_j' dz$$

$$[\tau] = \tau_{ij} = T_0 \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1' & \varphi_2' & \varphi_3' & \varphi_4' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1' \\ \varphi_2' \\ \varphi_3' \\ \varphi_4' \end{bmatrix} dz$$

$$= \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} & \tau_{14} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} & \tau_{24} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} & \tau_{34} \\ \tau_{41} & \tau_{42} & \tau_{43} & \tau_{44} \end{bmatrix}$$

$$= T_0 \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1' \varphi_1' & \varphi_1' \varphi_2' & \varphi_1' \varphi_3' & \varphi_1' \varphi_4' \\ \varphi_2' \varphi_1' & \varphi_2' \varphi_2' & \varphi_2' \varphi_3' & \varphi_2' \varphi_4' \\ \varphi_3' \varphi_1' & \varphi_3' \varphi_2' & \varphi_3' \varphi_3' & \varphi_3' \varphi_4' \\ \varphi_4' \varphi_1' & \varphi_4' \varphi_2' & \varphi_4' \varphi_3' & \varphi_4' \varphi_4' \end{bmatrix} dz$$

$$\tau_{11} = \frac{T_0}{L^3} \int_0^1 (-6Lz+6z^2) (-6Lz+6z^2) dz$$

$$= \frac{T_0}{L^3} \int_0^1 (36L^2z^2-72Lz^3+36z^4) dz$$

$$= \frac{T_0}{L^3} \left| 12L^2z^3 - 18Lz^4 + \frac{36}{5}z^5 \right|_0^1$$

$$= \frac{T_0}{L^3} \left(\frac{36}{5} L^5 \right)$$

untuk segmen balok $l = L$,

$$\tau_{11} = \frac{6T_0}{5L}$$

dengan cara yang sama didapatkan elemen matriks yang lain :

$$[\tau] = \frac{T_0}{5} \begin{bmatrix} \frac{6}{L} & \frac{1}{2} & -\frac{6}{L} & \frac{1}{2} \\ & \frac{2L}{3} & -\frac{1}{2} & -\frac{L}{6} \\ & & \frac{L}{6} & -\frac{1}{2} \\ \text{simetri} & & & \frac{2L}{3} \end{bmatrix}$$

* Matriks kekakuan yang mengandung unsur T'

$$[\tau'] = \tau'_{ij} = T' \int_0^1 \varphi_i' \varphi_j' z dz$$

$$[\tau'] = \tau'_{ij} = T' \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1' & \varphi_2' & \varphi_3' & \varphi_4' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1' \\ \varphi_2' \\ \varphi_3' \\ \varphi_4' \end{bmatrix} z dz$$

$$= \begin{bmatrix} \tau_{11}' & \tau_{12}' & \tau_{13}' & \tau_{14}' \\ \tau_{21}' & \tau_{22}' & \tau_{23}' & \tau_{24}' \\ \tau_{31}' & \tau_{32}' & \tau_{33}' & \tau_{34}' \\ \tau_{41}' & \tau_{42}' & \tau_{43}' & \tau_{44}' \end{bmatrix}$$

$$= T' \int_0^1 \begin{bmatrix} \varphi_1' \varphi_1' & \varphi_1' \varphi_2' & \varphi_1' \varphi_3' & \varphi_1' \varphi_4' \\ \varphi_2' \varphi_1' & \varphi_2' \varphi_2' & \varphi_2' \varphi_3' & \varphi_2' \varphi_4' \\ \varphi_3' \varphi_1' & \varphi_3' \varphi_2' & \varphi_3' \varphi_3' & \varphi_3' \varphi_4' \\ \varphi_4' \varphi_1' & \varphi_4' \varphi_2' & \varphi_4' \varphi_3' & \varphi_4' \varphi_4' \end{bmatrix} z dz$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{11} &= \frac{T'}{L^4} \int_0^1 (-6Lz + 6z^2)(-6Lz + 6z^2) z \, dz \\
 &= \frac{T'}{L^4} \int_0^1 (36L^2z^3 - 72Lz^4 + 36z^5) \, dz \\
 &= \frac{T'}{L^4} \left[9L^2z^4 - \frac{72}{5}Lz^5 + 6z^6 \right]_0^1 \\
 &= \frac{T'}{L^4} \left(\frac{3}{5} L^6 \right)
 \end{aligned}$$

untuk segmen balok $l = L$,

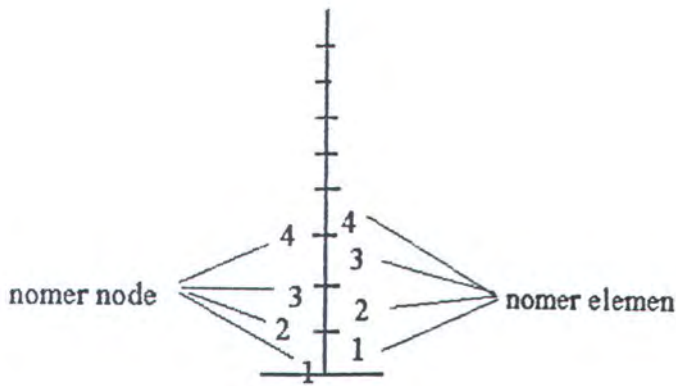
$$\tau_{11}' = \frac{3}{5} T' = 0.6 T'$$

dengan cara yang sama didapatkan elemen matriks yang lain :

$$[\tau'] = T' \begin{bmatrix} 0.6 & 0.1L & -0.6 & 0 \\ & \frac{L^2}{30} & -0.1L & -\frac{L^2}{60} \\ & & 0.6 & 0 \\ \text{simetri} & & & 0.1L^2 \end{bmatrix}$$

Penyusunan matriks sistem

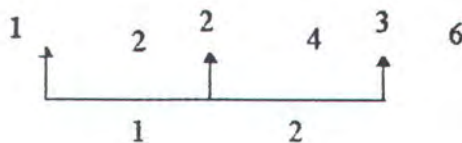
Penyusunan matriks sistem untuk massa dan kekakuan didasarkan pada model elemen hingga untuk riser yaitu :



G.b. (L1.3)

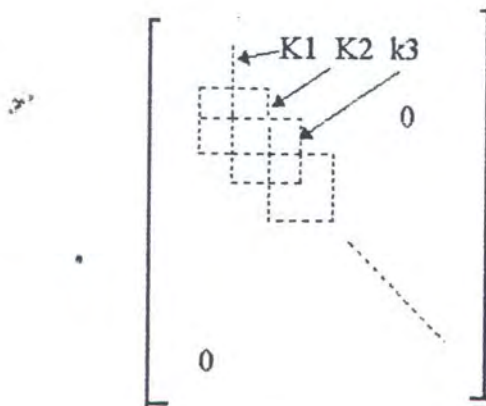
Seperti Gb. (L1.1) yang menggambarkan fungsi displasemen untuk satu elemen dengan dengan dua node untuk setiap elemen dan dengan dua derajat kebebasan untuk tiap-tiap node.

Untuk dua elemen yang bersebelahan (bersambungan) terdapat satu node yang bersekutu , seperti untuk elemen nomor 1 dan 2 , bersekutu pada node nomor 2. Demikian juga untuk derajat kebebasan pada node yang bersekutu tersebut, kedua elemen juga memiliki dua derajat kebebasan yang sama (bersekutu) seperti pada gambar di bawah ini :



Gb. (L1.4)

Elemen 1 dan 2 masing-masing memiliki derajat kebebasan nomor 3 dan 4. Seperti yang sudah diuraikan di atas bahwa penyusunan matriks kekakuan dan massa sistem adalah dengan menjumlahkan unsur matriks masing-masing elemen pada node-node yang bersesuaian. Secara skematis penyusunan matriks kekakuan sistem dapat digambarkan sebagai berikut :



Analog dengan penyusunan matriks kekakuan sistem, penyusunan matriks massa sistem juga dilakukan dengan cara yang sama.



LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM

C231567
 C\$NOEXT
 C\$NOWARN
 C

```

      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      CHARACTER PILIH*2,OUT*8
      DIMENSION SK(52,52),SM(52,52),X(53,53),D(52),EIGV(52),
1      NC(4),CEKIL(4,4),AEKAK(4,4),TEKAK(4,4),BK(4,4),BM(4,4),ELEV(25),
1      TO(25),SC(52,52),MDAL(25),CURRV(25),PARTV(25),PARTA(25),FO(25),
1      FA(25),PSEG(4),P(52)
C      COMMON/SATU/NC(4),CEKIL(4,4),AEKAK(4,4),TEKAK(4,4),BK(4,4),
C      1      BM(4,4),ELEV(25),TO(25),MDAL(25),CURRV(25),
C      1      PARTV(25),PARTA(25),FO(25),FA(25)
C      COMMON/DUA/SK(52,52),SM(52,52),SC(52,52),X(52,52)
C      COMMON/TIGA/EIGV(52),D(52),EI(52),NX(52),VV(52),MX(52)
C      COMMON/EMPAT/UD(52),UV(52),UA(52),TC(52),P(52),NEQ(52),F(52,52)
      OPEN(UNIT=20,FILE='rise.dat')

```

```

C -----
C      TAMPILAN NAMA PROGRAM
C -----

```

```

      PRINT*,CHAR(27),'[1;33;43m'
      write(*,5)
5      FORMAT (///,27X,'P:R:O:G:R:A:M',/,
      . 27X,'A N A L I S A',/,
      . 27X,'D I N A M I S')
      write(*,6)
6      FORMAT(/,
      . 29X,'R:I:S:E:R')
      PAUSE
      PRINT*,CHAR(27),'[Om'

```

```

C -----
C      BACA DATA-DATA UTAMA
C -----

```

```

      READ(20,*) NE
      IF((NE.EQ.0).OR.(NE.GT.25)) GO TO 180
      READ(20,*)DOWO,DO,TRISE,ROP,E
      READ(20,*)HWAVE,TWAVE,PWAVE,CSURF,CDEPT,ROW
      READ(20,*)ROM,TP
      READ(20,*)PHI,GVT,COM,CDRAG
      WRITE(*,'(24(/))')
      PRINT*,CHAR(27),'[1;34;47m'
      WRITE(*,15)DOWO,DO,TRISE,ROP,E,NE,
      .      HWAVE,TWAVE,PWAVE,CSURF,CDEPT,ROW
      PAUSE
      WRITE(*,'(24(/))')
      WRITE(*,25)ROM,TP,CDRAG,COM
15      FORMAT(25X,'***** DATA MASUKAN *****',/,
      . 10X,'Data riser :
      . 10X,' - Panjang = ',F14.3,1X,'ft',/,
      . 10X,' - Diameter luar = ',F14.3,1X,'inc',/,
      . 10X,' - Tebal pipa riser = ',F14.3,1X,'inc',/,
      . 10X,' - Berat jenis = ',F14.3,1X,'pcf',/,
      . 10X,' - Modulus elastisitas = ',F14.3,1X,'ksi',/,
      . 10X,' - Pembagian elemen = ',I10,7X,' ',/,
      . 10X,'Data lingkungan :
      . 10X,' - Tinggi gelombang = ',F14.3,1X,'ft',/,
      . 10X,' - Periode gelombang = ',F14.3,1X,'dt',/,
      . 10X,' - Panjang gelombang = ',F14.3,1X,'ft',/,
      . 10X,' - Arus di permukaan = ',F14.3,1X,'ft/dt',/,
      . 10X,' - Arus pada ball joint = ',F14.3,1X,'ft/dt',/,
      . 10X,' - Berat jenis air laut = ',F14.3,1X,'pcf')
25      FORMAT(/,
      . 10X,'Data tambahan :
      . 10X,' - Berat jenis lumpur = ',F14.3,1X,'pcf',/,
      . 10X,' - Top tension = ',F14.3,1X,'lb',/,
      . 10X,' - Koefisien drag = ',F14.3,1X,' ',/,
      . 10X,' - Koefisien masa tambah = ',F14.3,1X,' ',/,
      . ///)
      PRINT*,CHAR(27),'[Om'
      PRINT*,CHAR(27),'[1934;40m'
      WRITE(*,'(5X,A,\n)')'Apakah data-datanya diubah ? (Y/T) : '
      READ(*,'(A)')PILIH

```

```

IF(PILIH.EQ.'T'.OR.PILIH.EQ.'t')GO TO 41
WRITE(*,'(4(/))')
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Pembagian elemen           : '
READ (*,'(I6)')NE1
IF(NE1.NE.0)NE=NE1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Diameter luar                (inchi) : '
READ (*,'(F10.3)')DO1
IF(DO1.NE.0.)DO=DO1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Tebal pipa riser              (inchi) : '
READ (*,'(F10.3)')TRISE1
IF(TRISE1.NE.0.)TRISE=TRISE1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Berat jenis riser              (lb/cf) : '
READ (*,'(F10.3)')ROP1
IF(ROP1.NE.0.)ROP=ROP1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Modulus elastisits            (ksi)   : '
READ (*,'(F10.3)')E1
IF(E1.NE.0.)E=E1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Tinggi gelombang              (feet)  : '
READ (*,'(F10.3)')HWAVE1
IF(HWAVE1.NE.0.)HWAVE=HWAVE1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Periode gelombang              (detik) : '
READ (*,'(F10.3)')TWAVE1
IF(TWAVE1.NE.0.)TWAVE=TWAVE1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Panjang gelombang              (feet)  : '
READ (*,'(F10.3)')PWAVE1
IF(PWAVE1.NE.0.)PWAVE=PWAVE1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Arus dipermukaan               (ft/dt) : '
READ (*,'(F10.3)')CSURF1
IF(CSURF1.NE.0.)CSURF=CSURF1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Arus di balljoint bawah        (ft/dt) : '
READ (*,'(F10.3)')CDEPT1
IF(CDEPT1.NE.0.)CDEPT=CDEPT1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Berat jenis lumpur             (lb/cf) : '
READ (*,'(F10.3)')ROM1
IF(ROM1.NE.0.)ROM=ROM1
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Top tension                    (lb)    : '
READ (*,'(F10.3)')TP1
IF(TP1.NE.0.)TP=TP1
WRITE(*,'(16(/))')
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Apakah data-data baru ditampilkan? (Y/T): '
READ (*,'(A)')PILIH
WRITE(*,'(7(/))')
IF(PILIH.EQ.'T'.OR.PILIH.EQ.'t')GO TO 41
WRITE(*,15)DOWO,DO,TRISE,ROP,E,NE,
      HWAVE,TWAVE,PWAVE,CSURF,CDEPT,ROW
PAUSE
WRITE(*,'(24(/))')
WRITE(*,25)ROM,TP,CDRAG,COM
PAUSE
WRITE(*,'(5X,A,\)')'Apakah data-datanya diubah lagi ? : '
READ (*,'(A)')PILIH
IF(PILIH.EQ.'Y'.OR.PILIH.EQ.'y')GO TO 26

```

```

WRITE(*,'(5X,A,\)')'Nama file untuk menyimpan hasil keluaran : '
READ (*,'(A)')OUT
OPEN (50,FILE=OUT,STATUS='NEW',FORM='FORMATTED')
WRITE(50,15)DOWO,DO,TRISE,ROP,E,NE,
      HWAVE,TWAVE,PWAVE,CSURF,CDEPT,ROW
WRITE(50,25)ROM,TP,CDRAG,COM

```

```

C -----
C  MATRIKS KEKAKUAN DAN MASSA ELEMEN
C -----

```

```

PRINT*,CHAR(27),'[Om'
WRITE(*,'(24(/))')
ND=2*(NE+1)
DO 42 K=1,ND
DO 42 L=1,ND
SK(K,L)=0.0
SM(K,L)=0.0
CONTINUE
DO 45 N=1,ND
P(N)=0.0

```


45

```

CONTINUE
SL=DOWO/NE
DI=DO-(2*TRISE)
AP=PHI*((DO/12)**2-(DI/12)**2)/4
SI=PHI*((DO/12)**4-(DI/12)**4)/64
TA=PHI*GVT*(ROM*(DI/12)**2-ROW*(DO/12)**2)/4+ROP*AP*GVT
SMA=ROP*AP+(ROM*PHI*(DI/12)**2+(COM-1)*ROW*PHI*(DO/12)**2)/4
A1=E*1000.*144.*SI/SL**3
A2=TA/60
A3=SMA*SL/420

```

```

C -----
C LOOP PADA SEGMENT BALOK
C -----

```

```

DO 130 I=1,NE
WRITE(*,1)
FORMAT(1X,'ELEMEN KE = ',3X,\,I2)
READ (20,*)LE,(NC(L),L=1,4)
ELEV(I)=SL*(I-0.5)
TO(I)=PHI*GVT*(ROW*(DOWO-ELEV(I))*(DO/12)**2-ROM*(DOWO-ELEV(I))
*(DI/12)**2)/4+TP
IF (I.EQ.1)GO TO 52
IF (I.EQ.NE)GO TO 53

```

```

C -----
C MATRIKS KEKAKUAN ELASTIS ELEMEN
C -----

```

```

51 CEKIL(1,1)=12.*A1
CEKIL(1,2)=6.*A1*SL
CEKIL(1,3)=-12.*A1
CEKIL(1,4)=6.*A1*SL
CEKIL(2,2)=4.*A1*SL**2
CEKIL(2,3)=-6.*A1*SL
CEKIL(2,4)=2.*A1*SL**2
CEKIL(3,3)=12.*A1
CEKIL(3,4)=-6.*A1*SL
CEKIL(4,4)=4.*A1*SL**2

```

```

C -----
C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL ELEMEN
C -----

```

```

AEKAK(1,1)=36.*A2
AEKAK(1,2)=6.*A2*SL
AEKAK(1,3)=-36.*A2
AEKAK(1,4)=0.
AEKAK(2,2)=2.*A2*SL**2
AEKAK(2,3)=-6.*A2*SL
AEKAK(2,4)=-1.*A2*SL**2
AEKAK(3,3)=36.*A2
AEKAK(3,4)=0.
AEKAK(4,4)=6.*A2*SL**2

```

```

C -----
C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL VARIATIF ELEMEN
C -----

```

```

TEKAK(1,1)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,2)=1.*TO(I)/10.
TEKAK(1,3)=-6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,4)=1.*TO(I)/10.
TEKAK(2,2)=2.*TO(I)*SL/15.
TEKAK(2,3)=-1.*TO(I)/10.
TEKAK(2,4)=-1.*TO(I)*SL/30.
TEKAK(3,3)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(3,4)=-1.*TO(I)/10.
TEKAK(4,4)=2.*TO(I)*SL/15.
GO TO 60

```

```

C -----
C MATRIKS KEKAKUAN ELASTIS ELEMEN
C -----

```

```

52 CEKIL(1,1)=3.*A1
CEKIL(1,2)=0.
CEKIL(1,3)=-3.*A1
CEKIL(1,4)=3.*A1*SL
CEKIL(2,2)=0.
CEKIL(2,3)=0.
CEKIL(2,4)=0.

```


CEKIL(3,3)=3.
CEKIL(3,4)=-3.*A1*SL
CEKIL(4,4)=3.*A1*SL**2

C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL ELEMEN
C -----
C

AEKAK(1,1)=(45./2)*A2
AEKAK(1,2)=0.
AEKAK(1,3)=-(45./2)*A2
AEKAK(1,4)=0.
AEKAK(2,2)=0.
AEKAK(2,3)=0.
AEKAK(2,4)=0.
AEKAK(3,3)=(45./2)*A2
AEKAK(3,4)=0.
AEKAK(4,4)=(15./2)*A2*SL**2

C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL VARIATIF ELEMEN
C -----
C

TEKAK(1,1)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,2)=0.
TEKAK(1,3)=-6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,4)=2.*TO(I)/10.
TEKAK(2,2)=0.
TEKAK(2,3)=0.
TEKAK(2,4)=0.
TEKAK(3,3)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(3,4)=-2.*TO(I)/10.
TEKAK(4,4)=1.*TO(I)*SL/5.
GO TO 60.

C MATRIKS KEKAKUAN ELASTIS ELEMEN
C -----
C

53 CEKIL(1,1)=3.*A1
CEKIL(1,2)=3.*A1*SL
CEKIL(1,3)=-3.*A1
CEKIL(1,4)=0.
CEKIL(2,2)=3.*A1*SL**2
CEKIL(2,3)=-3.*A1*SL
CEKIL(2,4)=0.
CEKIL(3,3)=3.*A1
CEKIL(3,4)=0.
CEKIL(4,4)=0.

C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL ELEMEN
C -----
C

AEKAK(1,1)=(99./2)*A2
AEKAK(1,2)=12.*A2*SL
AEKAK(1,3)=-(99./2)*A2
AEKAK(1,4)=0.
AEKAK(2,2)=(9./2)*A2*SL**2
AEKAK(2,3)=-12.*A2*SL
AEKAK(2,4)=0.
AEKAK(3,3)=(99./2)*A2
AEKAK(3,4)=0.
AEKAK(4,4)=0.

C MATRIKS KEKAKUAN PENGARUH AKSIAL VARIATIF ELEMEN
C -----
C

TEKAK(1,1)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,2)=2.*TO(I)/10.
TEKAK(1,3)=-6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(1,4)=0.
TEKAK(2,2)=1.*TO(I)*SL/5.
TEKAK(2,3)=-2.*TO(I)/10.
TEKAK(2,4)=0.
TEKAK(3,3)=6.*TO(I)/(5.*SL)
TEKAK(3,4)=0.
TEKAK(4,4)=0.

C MATRIKS KEKAKUAN TOTAL ELEMEN
C -----
C

```

60      DO 65 M=1,4
        DO 65 N=M,4
          BK(M,N)=CEKIL(M,N)+AEKAK(M,N)+TEKAK(M,N)
65      CONTINUE
C      IF(I.EQ.1)GO TO 71
C      IF(I.EQ.NE)GO TO 72
C      -----
C      MATRIKS MASSA ELEMEN
C      -----
70      BM(1,1)=156.*A2
        BM(1,2)=22.*A2*SL
        BM(1,3)=54.*A2
        BM(1,4)=-13.*A2*SL
        BM(2,2)=4.*A2*SL**2
        BM(2,3)=13.*A2*SL
        BM(2,4)=-3.*A2*SL**2
        BM(3,3)=156.*A2
        BM(3,4)=-22.*A2*SL
        BM(4,4)=4.*A2*SL**2
        GO TO 80
C      -----
C      MATRIKS MASSA ELEMEN
C      -----
71      BM(1,1)=99.*A2
        BM(1,2)=0.
        BM(1,3)=58.5*A2
        BM(1,4)=-16.5*A2*SL
        BM(2,2)=0.
        BM(2,3)=0.
        BM(2,4)=0.
        BM(3,3)=204.*A2
        BM(3,4)=-36.*A2*SL
        BM(4,4)=8.*A2*SL**2
        GO TO 80
C      -----
C      MATRIKS MASSA ELEMEN
C      -----
72      BM(1,1)=204.*A2
        BM(1,2)=36.*A2*SL
        BM(1,3)=58.5*A2
        BM(1,4)=0.
        BM(2,2)=8.*A2*SL**2
        BM(2,3)=16.*A2*SL
        BM(2,4)=0.
        BM(3,3)=99.*A2
        BM(3,4)=0.
        BM(4,4)=0.
80      DO 90 K=2,4
        L=K-1
        DO 90 M=1,L
          BK(K,M)=BK(M,K)
90      BM(K,M)=BM(M,K)
C      -----
C      PENYUSUNAN DISTRIBUSI GAYA ELEMEN
C      -----
        CBEDA=(CSURF-CDEPT)/NE
        OMEGA=2*PHI/TWAVE
        CWAVE=2*PHI/PWAVE
        PARTF=CWAVE*HWAVE*GVT/2
        MDAL(I)=-(DOWO-ELEV(I))
C***      ARUS TIAP KEDALAMAN ***
        CURRV(I)=(I-0.5)*CBEDA+CDEPT
C***      KECEPATAN DAN PERCEPATAN PARTIKEL GELOMBANG TIAP KEDALAMAN ***
        PARTV(I)=PARTF*EXP(CWAVE*MDAL(I))/OMEGA
        PARTA(I)=PARTF*EXP(CWAVE*MDAL(I))
C***      GAYA TOTAL MENURUT PERS. MORISON TIAP KEDALAMAN ***
        FO(I)=ROW*CDRAG*(DO/12)*ABS(CURRV(I)+PARTV(I))*(CURRV(I)
        +PARTV(I))/(2.*GVT)
        FA(I)=ROW*PHI*(DO/12)**2*COM*PARTA(I)/(4.*GVT)
C***      DISTRIBUSI GAYA TIAP DERAJAT KEBEBASAN TIAP ELEMEN ***
        PSEG(I)=(FO(I)*SL**2)/(2.+(FA(I)*SL**2*3)/20.

```

PSEG(3)=(FO(I)*SL)/2.+(FA(I)*SL**2*7)/20.
PSEG(4)=-(FO(I)*SL**2)/12.-(FA(I)*SL**3*1)/20.

C PENYUSUNAN MATRIKS KEKAKUAN DAN MASSA SISTEM
C -----

DO 120 II=1,4
K=NC(II)
IF(K.GT.ND) GO TO 120
DO 110 JJ=1,4
L=NC(JJ)
IF(L.GT.ND) GO TO 110
100 SK(K,L)=SK(K,L)+BK(II,JJ)
SM(K,L)=SM(K,L)+BM(II,JJ)
110 CONTINUE
120 CONTINUE

C PENYUSUNAN DISTRIBUSI GAYA SISTEM
C -----

DO 125 LL=1,4
M=NC(LL)
IF(M.GT.ND) GO TO 125
P(M)=P(M)+PSEG(LL)
125 CONTINUE
130 CONTINUE
DO 131 K=1,NE
J=2*K-1
write(50,132) CURRV(K),PARTV(K),FO(K),PARTA(K),FA(K),P(J)
131 CONTINUE
PAUSE
WRITE(*,'(24(/))')
132 FORMAT(5X,6F10.2)

C TAMPILAN MATRIKS MASSA DAN KEKAKUAN SYSTEM
C -----

write(50,135)
C135 FORMAT(//,20X,'MATRIKS KEKAKUAN SISTEM',/)
DO 136 K=1,ND
DO 136 L=1,ND
IF (SK(K,L).NE.0) THEN
C write(50,145) SK(K,L)
C ENDIF
C136 CONTINUE
write(50,147)
DO 138 K=1,ND
DO 138 L=1,ND
IF (SM(K,L).NE.0) THEN
C write(50,145) SM(K,L)
C ENDIF
C138 CONTINUE
C145 FORMAT(6E12.4)
C147 FORMAT(//,20X,'MATRIKS MASSA SISTEM',/)
DO 150 N=1,ND
DO 150 M=1,ND
SC (N,M)=0.0
150 CONTINUE

C UNTUK FREKWENSI NATURAL DAN NORMAL MODE PANGGIL JACOBI

C CALL JACOBI(SK,SM,ND)

C UNTUK PENYELESAIAN TAHAP DEMI TAHAP PANGGIL STEPM

C CALL STEPM(SK,SM,SC,DO,SI,P,ND)

WRITE(*,'(24(/))')
PRINT*,CHAR(27),'[1;33;43m'
WRITE(*,5)
WRITE(*,6)
PAUSE
PRINT*,CHAR(27),'[OM'
180 CONTINUE
STOP




```

200  FORMAT(//,'*****CONDENSATION NOT POSSIBLE DUE TO WRONG',
      'ARRANGEMENT OF PRIMARY COORDINATES')
      END
C *****
C  SUBROUTINE JACOBI
C *****
      SUBROUTINE JACOBI (A,B,ND)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(52,52),B(52,52),X(52,52),D(52),EIGV(52)
      DIMENSION EI(52),NX(52),VV(52),MX(52)
C      COMMON/DUA/A(52,52),B(52,52),SC(52,52),X(52,52),F(52,52)
C      COMMON/TIGA/EIGV(52),D(52),EI(52),NX(52),VV(52),MX(52)
C -----
C  FORMAT MATRIKS EIGENVALUE DAN EIGENVEKTOR
C -----
      IFPR=0
      NSMAX=15
      RTCL=1.E-12
      IOUT=5
      DO 20 I=1,ND
      IF(A(I,I).GT.0.AND.B(I,I).GT.0) GO TO 10
      WRITE(5,440)
      STOP
10     D(I)=A(I,I)/B(I,I)
20     EIGV(I)=D(I)
      IF (D(ND).NE.999.) WRITE(5,410)
      DO 40 I=1,ND
      DO 30 J=1,ND
30     X(I,J)=0.
40     X(I,I)=1.
      IF(ND.EQ.1) RETURN
C -----
C  PERHITUNGAN SWEEP DAN MEMULAI ITERASI
C -----
      NSWEEP=0
      NR=ND-1
50     NSWEEP=NSWEEP+1
      IF (IFPR.EQ.1) WRITE(5,420)NSWEEP
C -----
C  CHECK IF PRESENT OFF-DIAGONAL ELEMENT IS LARGE
C -----
      EPS=(.01**NSWEEP)**2
      DO 220 J=1,NR
      JJ=J+1
      DO 220 K=JJ,ND
      EPTOLA=(A(J,K)*A(J,K))/(A(J,J)*A(K,K))
      EPTOLB=(B(J,K)*B(J,K))/(B(J,J)*B(K,K))
      IF((EPTOLA.LT.EPS).AND.(EPTOLB.LT.EPS)) GO TO 220
C -----
C  PERHITUNGAN MATRIKS ROTASI, UNTUK HARGA NOL YANG DI DAPAT
C -----
51     AKK=A(K,K)*B(J,K)-B(K,K)*A(J,K)
      AJJ=A(J,J)*B(J,K)-B(J,J)*A(J,K)
      AB=A(J,J)*B(K,K)-A(K,K)*B(J,J)
      CHECK=(AB*AB+4.*AKK*AJJ)/4.
      IF(CHECK) 60,70,70
      WRITE(5,440)
      STOP
70     SQCH=DSQRT(CHECK)
      D1=AB/2.+SQCH
      D2=AB/2.-SQCH
      DEN=D1
      IF(DABS(D2).GT.ABS(D1)) DEN=D2
      IF(DEN) 90,80,90
80     CA=0
      CG=-A(J,K)/A(K,K)
      CG=-A(J,K)/A(K,K)
      GO TO 100
90     CA=AKK/DEN
      CG=-AJJ/DEN
C -----
C  GENERALISASI ROTASI UNTUK ELEMEN DIAGONAL NOT

```

```

C -----
100     IF (ND-2) 110, 200, 110
110     JP1=J+1
        JM1=J-1
        KP1=K+1
        KM1=K-1
        IF (JM1-1) 140, 120, 120
120     DO 130 I=1, JM1
        AJ=A(I, J)
        BJ=B(I, I)
        AK=A(I, K)
        BK=B(I, K)
        A(I, J)=AJ+CG*AK
        B(I, J)=BJ+CG*BK
        A(I, K)=AK+CA*AJ
130     B(I, K)=BK+CA*BJ
140     IF (KP1-ND) 150, 150, 170
150     DO 160 I=KP1, ND
        AJ=A(J, I)
        BJ=B(J, I)
        AK=A(K, I)
        BK=B(K, I)
        A(J, I)=AJ+CG*AK
        B(J, I)=BJ+CG*BK
        A(K, I)=AK+CA*AJ
160     B(K, I)=BK+CA*BJ
170     IF (JP1-KM1) 180, 180, 200
180     DO 190 I=JP1, KM1
        AJ=A(J, I)
        BJ=B(J, I)
        AK=A(I, K)
        BK=B(I, K)
        A(J, I)=AJ+CG*AK
        B(J, I)=BJ+CG*BK
        A(I, K)=AK+CA*AJ
190     B(I, K)=BK+CA*BJ
200     AK=A(K, K)
        BK=B(K, K)
        A(K, K)=AK+2.*CA*A(J, K)+CA*CA*A(J, J)
        B(K, K)=BK+2.*CA*B(J, K)+CA*CA*B(J, J)
        A(J, J)=A(J, J)+2.*CG*A(J, K)+CG*CG*AK
        B(J, J)=B(J, J)+2.*CG*B(J, K)+CG*CG*BK
        A(J, K)=0
        B(J, K)=0

```

C -----
C MATRIKS EIGENVEKTOR BARU SETELAH EKSITASI
C -----

```

        DO 210 I=1, ND
        XJ=X(I, J)
        XK=X(I, K)
        X(I, J)=XJ+CG*XK
210     X(I, K)=XK+CA*XJ
220     CONTINUE

```

C -----
C EIGENVALUE BARU SETELAH EKSITASI
C -----

```

        DO 230 I=1, ND
        IF (A(I, I).GT.0.AND.B(I, I).GT.0.) GO TO 230
        WRITE(5, 440)
        STOP
230     EIGV(I)=A(I, I)/B(I, I)
236     IF (IFPR.EQ.0) GO TO 240
        WRITE(5, 430) (EIGV(I), I=1, ND)

```

C -----
C CHECK KONVERGENSI
C -----

```

240     DO 250 I=1, ND
        TOL=RTCL*D(I)
        DIF=DABS(EIGV(I)-D(I))
        IF (DIF.GT.TOL) GO TO 390
250     CONTINUE

```

```

C CHECK ALL OFF-DIAGONAL ELEMENTS TO SWEEP IF ANOTHER
C SWEEP IS REQUIRED
C -----

```

```

      EPS=RTCL**2
      DO 260 J=1,NR
      JJ=J+1
      DO 260 K=JJ,ND
      EPSA=(A(J,K)*A(J,K))/(A(J,J)*A(K,K))
      EPSB=(B(J,K)*B(J,K))/(B(J,J)*B(K,K))
      IF ((EPSA.LT.EPS).AND.(EPSB.LT.EPS)) GO TO 260
      GO TO 390
260  CONTINUE

```

```

C -----
C PENGISIAN SEGITIGA BAWAH MATRIKS HASIL DAN
C PERBANDINGAN EIGENVECTOR
C -----

```

```

270  DO 280 I=1,ND
      DO 280 J=1,ND
      A(J,I)=A(I,J)
280  B(J,I)=B(I,J)
      DO 290 J=1,ND
      BB=DSQRT(B(J,J))
      DO 290 K=1,ND
290  X(K,J)=X(K,J)/BB

```

```

C -----
C MATRIKS YANG BARU DAN MEMULAI SWEEP BARU
C -----

```

```

      DO 300 I=1,ND
300  EI(I)=EIGV(I)
      KX=0
      DO 320 J=1,ND
      SMALL=1.0E20
      DO 310 I=1,ND
      IF (EI(I).GT.SMALL) GO TO 310
      KKK=I
      SMALL=EI(I)
310  CONTINUE
      KX=KX+1
      NX(KX)=KKK
      EIGV(J)=EI(KKK)
      EI(KKK)=1.E20
320  CONTINUE
      DO 330 I=1,ND
      II=NX(I)
330  MX(II)=I
      DO 360 J=1,ND
      DO 350 JT=1,ND
      JJ=NX(J)
      VV(JT)=X(JT,J)
340  FORMAT(6I5,6E15.4)
      X(JT,J)=X(JT,JJ)
      X(JT,JJ)=VV(JT)
350  CONTINUE
      KJ=MX(J)
      NX(KJ)=JJ
      MX(JJ)=MX(J)
360  CONTINUE
      IF (D(ND).EQ.999) RETURN
      WRITE(5,430) (EIGV(IL),IL=1,ND)
C      WRITE(50,380)
C      DO 370 LI=1,ND
C370  WRITE(50,430) (X(LI,LJ),LJ=1,ND)
380  FORMAT(/25X,'EIGENVECTOR',/)
      RETURN
390  DO 400 I=1,ND
400  D(I)=EIGV(I)
      IF(NSWEEP.LT.NSMAX) GO TO 50
      GO TO 270
410  FORMAT(/,25X,'EIGENVALUE',/)
420  FORMAT(1X,27HSWEEP NUMBER IN *JACOBI* = ,I4)
430  FORMAT(6E12.5)
440  FORMAT(10X,1X,'***END OF SOLUTION STOP***')

```



```

1 10X,'MATRICES NOT POSITIVE DEFINITE')
END
C *****
C SUBROUTINE Mencari RESPON SECARA 'STEP BY STEP' DENGAN METODA
C WILSON (O)
C *****
SUBROUTINE STEPM (SK,SM,SC,DO,SI,P,ND)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION SK(52,52),SM(52,52),SC(52,52),F(52,52),X(53,53),
. DUA(52),UD(52),UV(52),UA(52),TODIN(52),TC(52),P(52),NEQ(52),
. OMEN(52)
C COMMON/DUA/SK(52,52),SM(52,52),SC(52,52),X(52,52),F(52,52)
C COMMON/EMPAT/UD(52),UV(52),UA(52),TC(52),P(52),NEQ(52)
C
ND1=ND+1
C -----
C UNTUK KONDISI AWAL
C -----
DO 10 I=1,ND
UD(I)=0.0
UV(I)=0.0
DO 10 J=1,ND
10 F(I,J)=0.0
WRITE(*,'(5X,A)') 'Data untuk mencari respon secara bertahap'
WRITE(*,'(10X,A,\)') 'Batas waktu maksimum untuk integrasi : '
READ (*,'(F10.3)') TMAX
WRITE(*,'(10X,A,\)') 'Selang waktu tiap tahap integrasi : '
READ (*,'(F10.3)') DT
WRITE(*,'(10X,A,\)') 'Kondisi awal atau perpindahan statis : '
READ (*,'(F10.3)') START
WRITE(50,15) START,TMAX,DT
15 FORMAT(/,
. 10X,'Kondisi awal atau perpindahan statis : ',F8.3,/,
. 10X,'Batas waktu maksimum untuk integrasi : ',F8.3,/,
. 10X,'Selang waktu tiap tahap integrasi : ',F8.3,///)
DO 25 L=1,ND
NEQ(L)=2
25 CONTINUE
C -----
C INTERPOLASI DIANTARA TITIK-TITIK DATA EKSITASI
C -----
THETA=1.400
ANN=0.0
II=1
DO 60 ID=1,ND
NE=NEQ(ID)
IF (NE.EQ.0) GO TO 60
IF (NE.GT.TMAX/DT) NE=TMAX/DT
TC(1)=0.00
TC(NE)=TMAX
DO 38 L=1,NE
P(L)=P(ID)
38 CONTINUE
NT=TC(NE)/DT
NT1=NT+1
NT2=NT+2
F(ID,1)=P(1)
ANN=0.0
II=1
DO 50 I=2,NT2
AI=I-1
T=AI*DT
IF(T.GT.TC(NE)) GO TO 60
IF(T.LE.TC(II+1)) GO TO 40
ANN=-TC(II+1)+T-DT
II=II+1
40 ANN=ANN+DT
F(ID,I)=P(II)+(P(II+1)-P(II))*ANN/(TC(II+1)-TC(II))
50 CONTINUE
60 CONTINUE
C -----
C MENGHITUNG SUBSTANSI ANN

```

```

C -----
      NT=TMAX/DT
      NT1=NT+1
      NE1=ND/2
      DO 70 I=1,ND
      X(I,ND1)=F(I,1)
      DO 70 J=1,ND
70    X(I,J)=SM(I,J)
      DO 80 I=1,ND
      DO 80 J=1,ND
80    X(I,ND1)=X(I,ND1)-SC(I,J)*UV(J)-SK(I,J)*UD(J)
      CALL SOLVE (ND,X)
      DO 90 I=1,ND
90    UA(I)=X(I,ND1)
C -----
C   PENENTUAN KONSTANTA DAN LOOP TIAP PERUBAHAN WAKTU
C -----
      TU=THETA*DT
      A1=3./TU
      A2=6./TU
      A3=TU/2.0
      A4=A2/TU
      DO 190 L=1,NT
      DO 110 I=1,ND
      DO 110 J=1,ND
110   X(I,J)=SK(I,J)+A4*SM(I,J)+A1*SC(I,J)
      AL=L
      T=AL*DT
      WRITE(*,'(24(/))')
      PRINT*,CHAR(27),'[1H'
      PRINT*,CHAR(27),'[5;37;40m'
      WRITE(*,115)T
115   FORMAT(/,
.    22X,'=====','/,
.    22X,' TUNGGU !!!   LAGI NGE-RUN ','/,
.    22X,'=====','/,
.    33X,'T = ',F7.3)
      PRINT*,CHAR(27),'[Om'
      DO 130 I=1,ND
      X(I,ND1)=F(I,L+1)+(F(I,L+2)-F(I,L+1))*(THETA-1.0)-F(I,L)
      OMEN(I)=X(I,ND1)+F(I,L)
      TODIN(I)=OMEN(I)*(DO/12)/SI
      DO 120 J=1,ND
120   X(I,ND1)=X(I,ND1)+(SM(I,J)*A2+SC(I,J)*3.0)*UV(J)
.    +(SM(I,J)*3.0+A3*SC(I,J))*UA(J)
130   CONTINUE
      CALL SOLVE (ND,X)
      DO 140 I=1,ND
      DUA(I)=A4*X(I,ND1)-A2*UV(I)-3.0*UA(I)
      DUA(I)=DUA(I)/THETA
      DUV=DT*UA(I)+DT*DUA(I)/2.0
      UD(I)=UD(I)+DT*UV(I)+DT*DT*UA(I)/2.0+DT*DT*DUA(I)/6.0
      IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.(ND-1))UD(I)=0.0
      UV(I)=UV(I)+DUV
140   CONTINUE
      DO 160 I=1,ND
      X(I,ND1)=F(I,L+1)
      DO 150 J=1,ND
      X(I,ND1)=X(I,ND1)-SK(I,J)*UD(J)-SC(I,J)*UV(J)
150   X(I,J)=SM(I,J)
160   CONTINUE
      CALL SOLVE (ND,X)
      DO 161 I=1,ND
      UA(I)=X(I,ND1)
161   CONTINUE
      WRITE(50,165)T
165   FORMAT(/,7X,'RESPON DAN TEGANGAN PADA T = ',F6.3,2X,'ADALAH:')
      SL=500/((ND/2)-1)
      TAN=START/500
      DO 166 K=1,NE1
      M=2+K-1

```



```

166      CONTINUE
      CALL KELUAR (UD,UV,UA,TODIN,ND)
      DO 170 K=1,NE1
      M=2*K-1
      UD(M)=UD(M)-(K-1)*SL*TAN)
170      CONTINUE
190      CONTINUE
      RETURN
      END
C *****
C      PENYELESAIAN PERSAMAAN DENGAN ELIMINASI GAUSS
C *****
      SUBROUTINE SOLVE (N,A)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(53,53)
      M=1
      EPS=1.0E-10
      NPLUSM=N+M
      DET=1.0
      DO 40 K=1,N
      IF(A(K,K).GE.(1.0E-50))GO TO 10
      DET=DET*A(K,K)
      IF(DABS(A(K,K)).GT.EPS) GO TO 10
      write(50,50)
      GO TO 60
10      KP1=K+1
      DO 20 J=KP1,NPLUSM
20      A(K,J)=A(K,J)/A(K,K)
      A(K,K)=1
      DO 40 I=1,N
      IF (I.EQ.K.OR.A(I,K).EQ.0.) GO TO 40
      DO 30 J=KP1,NPLUSM
30      A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)
      A(I,K)=0.D00
40      CONTINUE
50      FORMAT(37H SMALL PIVOT - MATRIX MAY BE SINGULAR)
60      RETURN
      END
C *****
C      SUBROUTINE OUT
C *****
      SUBROUTINE KELUAR (DISP,VELOC,PERCEP,TODIN,NNODE)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION DISP(52),VELOC(52),PERCEP(52),TODIN(52)
C
      WRITE(50,10)
10      FORMAT(5X,
      '=====',
      '=====','/,5X,'| NO. NODE |DISPLASEMEN | KECEPATAN | ',
      'PERCEPATAN | TEGANGAN | ',/,5X,'=====',
      '=====','/,5X,'| ',
      ' | | | | | ')
      NE1=NNODE/2
      DO 15 I=1,NE1
      K=2*I-1
      L=2*I
      WRITE(50,20) I, DISP(K), VELOC(K), PERCEP(K), TODIN(L)
15      CONTINUE
20      FORMAT(5X,'| ',4X,I2,4X,'| ',F12.7,'| ',F12.7,'| ',F12.7,'| ',
      'E14.5,'| ')
      WRITE(50,30)
30      FORMAT(5X,
      ' | | | | | ',
      ' |/,5X,
      '=====',
      '=====')
      END

```




LAMPIRAN C
OUTPUT PROGRAM

Cipta Karya

DATA STANDART

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 0.100 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	-0.016	-0.165	0.166E+06
2	-0.048	-0.002	-0.022	0.404E+05
3	-0.096	0.000	-0.004	0.436E+05
4	-0.144	0.000	-0.001	0.468E+05
5	-0.192	0.000	0.000	0.502E+05
6	-0.240	0.000	0.000	0.538E+05
7	-0.288	0.000	0.000	0.574E+05
8	-0.336	0.000	0.000	0.612E+05
9	-0.384	0.000	0.000	0.651E+05
10	-0.432	0.000	0.000	0.692E+05
11	-0.480	0.000	0.000	0.734E+05
12	-0.528	0.000	0.000	0.780E+05
13	-0.576	0.000	0.001	0.830E+05
14	-0.624	0.000	0.001	0.890E+05
15	-0.672	0.000	0.002	0.969E+05
16	-0.720	0.001	0.005	0.109E+06
17	-0.768	0.002	0.011	0.130E+06
18	-0.816	0.004	0.025	0.170E+06
19	-0.864	0.008	0.056	0.255E+06
20	-0.911	0.018	0.126	0.437E+06
21	-0.958	0.039	0.283	0.830E+06
22	-1.003	0.082	0.631	0.169E+07
23	-1.046	0.170	1.374	0.360E+07
24	-1.086	0.323	2.771	0.795E+07
25	-1.126	0.482	4.364	0.180E+08
26	-1.200	0.738	6.897	0.197E+08

DATA STANDART

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 1.400 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	4.682	2.095	0.166E+06
2	0.152	1.859	-4.821	0.404E+05
3	0.002	3.046	-8.678	0.436E+05
4	0.019	4.435	-12.201	0.468E+05
5	-0.001	5.840	-16.027	0.502E+05
6	0.016	7.271	-20.920	0.538E+05
7	0.048	8.572	-26.899	0.574E+05
8	0.080	9.741	-33.458	0.612E+05
9	0.113	10.807	-40.346	0.651E+05
10	0.148	11.780	-47.498	0.692E+05
11	0.184	12.659	-54.883	0.734E+05
12	0.221	13.443	-62.454	0.780E+05
13	0.258	14.130	-70.149	0.830E+05
14	0.294	14.721	-77.899	0.890E+05
15	0.328	15.216	-85.617	0.969E+05
16	0.359	15.612	-93.209	0.109E+06
17	0.385	15.892	-100.638	0.130E+06
18	0.402	15.998	-108.242	0.170E+06
19	0.415	15.808	-117.630	0.255E+06
20	0.477	15.288	-132.797	0.437E+06
21	0.750	15.339	-157.296	0.830E+06
22	1.353	19.073	-178.080	0.169E+07
23	1.251	27.558	-152.745	0.360E+07
24	-0.788	28.477	-85.616	0.795E+07
25	-0.025	27.431	-44.735	0.180E+08
26	-1.200	16.989	-57.101	0.197E+08

DATA STANDART

RESPON DAN TEGANGAN PADA $T = 2.100$ ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	16.404	30.073	0.166E+06
2	0.380	2.770	1.175	0.404E+05
3	-0.154	3.502	-1.016	0.436E+05
4	-0.134	5.331	-1.476	0.468E+05
5	-0.156	7.003	-3.265	0.502E+05
6	-0.171	8.580	-5.877	0.538E+05
7	-0.189	10.201	-9.433	0.574E+05
8	-0.168	11.808	-14.702	0.612E+05
9	-0.125	13.248	-21.600	0.651E+05
10	-0.076	14.506	-29.535	0.692E+05
11	-0.022	15.612	-38.161	0.734E+05
12	0.037	16.574	-47.340	0.780E+05
13	0.100	17.392	-56.924	0.830E+05
14	0.164	18.063	-66.637	0.890E+05
15	0.222	18.569	-76.072	0.969E+05
16	0.262	18.815	-85.039	0.109E+06
17	0.276	18.540	-94.914	0.130E+06
18	0.313	17.422	-110.994	0.170E+06
19	0.583	16.034	-141.357	0.255E+06
20	1.319	17.480	-181.563	0.437E+06
21	1.841	24.743	-194.443	0.830E+06
22	0.612	30.296	-153.194	0.169E+07
23	0.171	28.329	-107.830	0.360E+07
24	-0.380	30.487	-61.306	0.795E+07
25	-0.582	27.117	-23.868	0.180E+08
26	-1.200	12.555	-24.305	0.197E+08

DATA STANDART

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	41.522	98.654	0.994E+05
2	0.852	2.746	18.788	0.242E+05
3	-0.608	1.023	24.062	0.261E+05
4	-0.602	2.361	36.778	0.281E+05
5	-0.812	3.276	49.021	0.301E+05
6	-1.037	4.383	62.080	0.323E+05
7	-1.238	5.699	75.295	0.345E+05
8	-1.439	7.089	88.701	0.367E+05
9	-1.659	8.697	102.453	0.391E+05
10	-1.863	10.604	115.671	0.415E+05
11	-2.041	12.717	127.586	0.441E+05
12	-2.199	14.958	138.037	0.468E+05
13	-2.342	17.273	146.911	0.498E+05
14	-2.467	19.578	153.460	0.534E+05
15	-2.552	21.792	155.732	0.582E+05
16	-2.533	24.122	151.153	0.654E+05
17	-2.334	27.568	141.257	0.780E+05
18	-2.097	33.586	140.350	0.102E+06
19	-2.470	40.856	171.094	0.153E+06
20	-3.755	42.594	225.042	0.262E+06
21	-4.046	37.735	249.849	0.498E+06
22	-3.357	37.432	247.664	0.102E+07
23	-4.212	33.650	241.335	0.216E+07
24	-2.879	31.878	207.393	0.477E+07
25	-2.860	28.295	156.771	0.108E+08
26	-1.200	15.306	164.813	0.118E+08

VARIASI TOP TENSION 200000 lbs (4.4482 N)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	78.135	191.137	0.994E+05
2	1.329	3.562	19.530	0.242E+05
3	-0.610	0.232	20.062	0.261E+05
4	-0.555	1.338	32.036	0.281E+05
5	-0.762	1.909	43.593	0.301E+05
6	-0.987	2.604	56.416	0.323E+05
7	-1.211	3.524	70.119	0.345E+05
8	-1.426	4.543	84.463	0.367E+05
9	-1.669	5.729	99.752	0.391E+05
10	-1.915	7.214	115.478	0.415E+05
11	-2.144	8.960	130.819	0.441E+05
12	-2.358	10.890	145.358	0.468E+05
13	-2.562	12.944	158.736	0.498E+05
14	-2.746	15.056	169.991	0.534E+05
15	-2.883	17.231	177.268	0.582E+05
16	-2.907	19.852	179.317	0.654E+05
17	-2.793	23.982	180.850	0.780E+05
18	-2.806	30.383	197.993	0.102E+06
19	-3.586	36.122	244.970	0.153E+06
20	-4.899	34.782	296.448	0.262E+06
21	-4.611	29.758	305.596	0.498E+06
22	-4.140	30.557	295.062	0.102E+07
23	-4.575	26.605	274.468	0.216E+07
24	-3.470	27.102	230.233	0.477E+07
25	-2.330	24.825	167.076	0.108E+08
26	-1.200	11.170	168.318	0.118E+08

VARIASI TOP TENSION 100000 lbs (4.4482 N)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	63.750	153.791	0.994E+05
2	1.162	3.253	19.333	0.242E+05
3	-0.617	0.468	21.639	0.261E+05
4	-0.575	1.663	34.045	0.281E+05
5	-0.787	2.342	45.966	0.301E+05
6	-1.014	3.175	59.041	0.323E+05
7	-1.232	4.235	72.750	0.345E+05
8	-1.444	5.383	86.941	0.367E+05
9	-1.681	6.718	101.891	0.391E+05
10	-1.915	8.356	116.961	0.415E+05
11	-2.129	10.242	131.326	0.441E+05
12	-2.326	12.295	144.648	0.468E+05
13	-2.509	14.457	156.648	0.498E+05
14	-2.675	16.654	166.423	0.534E+05
15	-2.794	18.860	172.051	0.582E+05
16	-2.803	21.401	171.793	0.654E+05
17	-2.655	25.339	169.327	0.780E+05
18	-2.577	31.700	180.462	0.102E+06
19	-3.224	38.068	222.678	0.153E+06
20	-4.554	37.754	275.960	0.262E+06
21	-4.466	32.645	290.469	0.498E+06
22	-3.897	33.083	282.468	0.102E+07
23	-4.504	29.090	266.371	0.216E+07
24	-3.265	28.829	224.885	0.477E+07
25	-2.595	25.945	165.201	0.108E+08
26	-1.200	11.808	168.815	0.118E+08

VARIASI TOP TENSION 200000 lbs (4.4482 N)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	78.135	191.137	0.994E+05
2	1.329	3.562	19.530	0.242E+05
3	-0.610	0.232	20.062	0.261E+05
4	-0.555	1.338	32.036	0.281E+05
5	-0.762	1.909	43.593	0.301E+05
6	-0.987	2.604	56.416	0.323E+05
7	-1.211	3.524	70.119	0.345E+05
8	-1.426	4.543	84.463	0.367E+05
9	-1.669	5.729	99.752	0.391E+05
10	-1.915	7.214	115.478	0.415E+05
11	-2.144	8.960	130.819	0.441E+05
12	-2.358	10.890	145.358	0.468E+05
13	-2.562	12.944	158.736	0.498E+05
14	-2.746	15.056	169.991	0.534E+05
15	-2.883	17.231	177.268	0.582E+05
16	-2.907	19.852	179.317	0.654E+05
17	-2.793	23.982	180.850	0.780E+05
18	-2.806	30.383	197.993	0.102E+06
19	-3.586	36.122	244.970	0.153E+06
20	-4.899	34.782	296.448	0.262E+06
21	-4.611	29.758	305.596	0.498E+06
22	-4.140	30.557	295.062	0.102E+07
23	-4.575	26.605	274.468	0.216E+07
24	-3.470	27.102	230.233	0.477E+07
25	-2.330	24.825	167.076	0.108E+08
26	-1.200	11.170	168.318	0.118E+08

VARIASI TOP TENSION 100000 lbs (4.4482 N)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	63.750	153.791	0.994E+05
2	1.162	3.253	19.333	0.242E+05
3	-0.617	0.468	21.639	0.261E+05
4	-0.575	1.663	34.045	0.281E+05
5	-0.787	2.342	45.966	0.301E+05
6	-1.014	3.175	59.041	0.323E+05
7	-1.232	4.235	72.750	0.345E+05
8	-1.444	5.383	86.941	0.367E+05
9	-1.681	6.718	101.891	0.391E+05
10	-1.915	8.356	116.961	0.415E+05
11	-2.129	10.242	131.326	0.441E+05
12	-2.326	12.295	144.648	0.468E+05
13	-2.509	14.457	156.648	0.498E+05
14	-2.675	16.654	166.423	0.534E+05
15	-2.794	18.860	172.051	0.582E+05
16	-2.803	21.401	171.793	0.654E+05
17	-2.655	25.339	169.327	0.780E+05
18	-2.577	31.700	180.462	0.102E+06
19	-3.224	38.068	222.678	0.153E+06
20	-4.554	37.754	275.960	0.262E+06
21	-4.466	32.645	290.469	0.498E+06
22	-3.897	33.083	282.468	0.102E+07
23	-4.504	29.090	266.371	0.216E+07
24	-3.265	28.829	224.885	0.477E+07
25	-2.595	25.945	165.201	0.108E+08
26	-1.200	11.808	168.815	0.118E+08

VARIASI BERAT JENIS LUMPUR 50 lb/ft³ (16.0183 Kg/m³)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH :

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	1.493	38.236	0.994E+05
2	-0.280	2.664	38.260	0.242E+05
3	-0.481	4.191	57.683	0.261E+05
4	-0.623	5.421	77.980	0.281E+05
5	-0.838	6.423	100.074	0.301E+05
6	-1.040	7.048	123.032	0.323E+05
7	-1.251	7.463	147.342	0.345E+05
8	-1.478	7.544	173.203	0.367E+05
9	-1.733	7.576	200.325	0.391E+05
10	-1.970	7.610	225.869	0.415E+05
11	-2.181	7.439	248.289	0.441E+05
12	-2.376	6.975	267.541	0.468E+05
13	-2.548	6.295	283.563	0.498E+05
14	-2.687	5.648	296.977	0.534E+05
15	-2.807	5.416	312.210	0.582E+05
16	-3.029	5.461	338.343	0.654E+05
17	-3.532	3.682	375.763	0.780E+05
18	-4.056	-3.125	389.772	0.102E+06
19	-3.539	-11.589	330.792	0.153E+06
20	-2.220	-11.004	232.661	0.262E+06
21	-2.316	-6.717	170.353	0.498E+06
22	-1.428	-3.731	116.421	0.102E+07
23	-1.879	3.557	93.991	0.216E+07
24	-0.982	8.634	82.110	0.477E+07
25	-1.612	14.146	72.088	0.108E+08
26	-1.200	1.556	79.113	0.118E+08

VARIASI TOP TENSION 400000 lbs (4.4482 N)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	33.118	78.812	0.994E+05
2	0.713	2.553	18.427	0.242E+05
3	-0.593	1.326	24.835	0.261E+05
4	-0.607	2.723	37.460	0.281E+05
5	-0.813	3.759	49.648	0.301E+05
6	-1.033	4.995	62.448	0.323E+05
7	-1.223	6.425	75.180	0.345E+05
8	-1.417	7.923	87.973	0.367E+05
9	-1.625	9.654	100.888	0.391E+05
10	-1.813	11.671	112.945	0.415E+05
11	-1.972	13.869	123.429	0.441E+05
12	-2.109	16.172	132.279	0.468E+05
13	-2.231	18.531	139.460	0.498E+05
14	-2.335	20.859	144.317	0.534E+05
15	-2.404	23.050	144.928	0.582E+05
16	-2.374	25.253	138.392	0.654E+05
17	-2.157	28.410	125.168	0.780E+05
18	-1.853	34.141	118.436	0.102E+06
19	-2.090	41.678	142.717	0.153E+06
20	-3.318	44.398	195.544	0.262E+06
21	-3.779	39.857	225.049	0.498E+06
22	-3.067	39.201	226.049	0.102E+07
23	-4.003	35.647	224.798	0.216E+07
24	-2.693	33.171	195.545	0.477E+07
25	-2.886	29.434	150.269	0.108E+08
26	-1.200	17.581	159.758	0.118E+08

VARIASI BERAT JENIS LUMPUR 70 lb/ft³ (16.0183 Kg/m³)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	-0.857	-14.731	0.994E+05
2	0.066	0.479	-14.536	0.242E+05
3	0.129	1.281	-21.623	0.261E+05
4	0.107	2.054	-28.008	0.281E+05
5	0.116	2.845	-34.360	0.301E+05
6	0.133	3.723	-40.805	0.323E+05
7	0.134	4.630	-47.416	0.345E+05
8	0.151	5.706	-55.103	0.367E+05
9	0.200	6.699	-64.382	0.391E+05
10	0.245	7.522	-73.868	0.415E+05
11	0.275	8.311	-82.647	0.441E+05
12	0.301	9.164	-90.746	0.468E+05
13	0.325	10.101	-98.024	0.498E+05
14	0.333	11.062	-103.732	0.534E+05
15	0.298	11.759	-107.905	0.582E+05
16	0.227	11.560	-115.417	0.654E+05
17	0.295	10.239	-139.068	0.780E+05
18	0.857	10.190	-187.216	0.102E+06
19	1.722	16.222	-231.411	0.153E+06
20	1.431	25.984	-218.294	0.262E+06
21	0.280	28.474	-167.145	0.498E+06
22	0.630	30.595	-123.319	0.102E+07
23	-0.900	31.221	-63.183	0.216E+07
24	-0.334	30.216	-19.183	0.477E+07
25	-1.263	27.869	10.629	0.108E+08
26	-1.200	15.206	17.277	0.118E+08

VARIASI BERAT JENIS LUMPUR 110 lb/ft³ (16.0183 Kg/m³)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	498.585	1505.579	0.994E+05
2	-0.633	-4.173	-25.107	0.242E+05
3	1.132	6.657	11.545	0.261E+05
4	-0.276	1.849	-11.747	0.281E+05
5	0.041	3.726	-10.778	0.301E+05
6	0.041	3.953	-15.017	0.323E+05
7	0.056	3.937	-18.025	0.345E+05
8	0.032	3.575	-19.282	0.367E+05
9	-0.034	2.920	-17.785	0.391E+05
10	-0.169	2.063	-12.590	0.415E+05
11	-0.375	1.168	-3.114	0.441E+05
12	-0.646	0.372	10.688	0.468E+05
13	-0.972	-0.218	28.452	0.498E+05
14	-1.337	-0.478	49.480	0.534E+05
15	-1.713	-0.189	73.129	0.582E+05
16	-2.079	1.059	100.264	0.654E+05
17	-2.489	3.699	135.544	0.780E+05
18	-3.182	7.150	186.059	0.102E+06
19	-4.380	8.374	247.894	0.153E+06
20	-5.381	4.568	290.426	0.262E+06
21	-4.722	1.771	288.903	0.498E+06
22	-4.336	6.044	277.309	0.102E+07
23	-4.767	6.348	259.745	0.216E+07
24	-3.480	11.578	219.175	0.477E+07
25	-3.146	14.558	162.850	0.108E+08
26	-1.200	1.176	169.811	0.118E+08

VARIASI STATIS OFFSET 0% KEDALAMAN ft (0.305 m)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	-6.095	-12.138	0.994E+05
2	-0.164	-0.315	-0.614	0.242E+05
3	0.027	0.059	0.122	0.261E+05
4	-0.003	-0.007	-0.020	0.281E+05
5	0.001	0.000	0.001	0.301E+05
6	0.000	0.000	0.000	0.323E+05
7	0.000	-0.001	-0.001	0.345E+05
8	0.000	-0.001	0.006	0.367E+05
9	0.000	0.000	0.005	0.391E+05
10	0.000	0.000	-0.008	0.415E+05
11	0.000	-0.002	-0.029	0.441E+05
12	0.001	-0.001	-0.066	0.468E+05
13	0.002	0.006	-0.105	0.498E+05
14	0.003	0.028	-0.060	0.534E+05
15	0.002	0.067	0.264	0.582E+05
16	-0.009	0.085	1.016	0.654E+05
17	-0.030	-0.013	1.813	0.780E+05
18	-0.035	-0.266	1.449	0.102E+06
19	0.015	-0.422	-0.693	0.153E+06
20	0.067	-0.187	-2.517	0.262E+06
21	0.037	-0.018	-2.444	0.498E+06
22	0.104	0.018	-2.336	0.102E+07
23	0.076	0.058	-1.803	0.216E+07
24	0.448	0.438	-1.202	0.477E+07
25	0.777	0.022	-1.111	0.108E+08
26	0.000	-5.480	-5.274	0.118E+08

VARIASI STATIS OFFSET 2% KEDALAMAN ft (0.305 m)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	1009.714	2351.425	0.994E+05
2	21.507	64.994	413.305	0.242E+05
3	-13.516	20.639	510.857	0.261E+05
4	-12.775	50.523	785.001	0.281E+05
5	-17.340	69.890	1045.767	0.301E+05
6	-22.121	93.494	1324.384	0.323E+05
7	-26.416	121.589	1606.320	0.345E+05
8	-30.686	151.242	1892.167	0.367E+05
9	-35.390	185.537	2185.565	0.391E+05
10	-39.758	226.223	2467.809	0.415E+05
11	-43.558	271.339	2722.417	0.441E+05
12	-46.935	319.134	2946.132	0.468E+05
13	-49.998	368.373	3136.243	0.498E+05
14	-52.689	417.085	3275.044	0.534E+05
15	-54.482	463.524	3316.914	0.582E+05
16	-53.868	512.861	3203.938	0.654E+05
17	-49.195	588.371	2976.603	0.780E+05
18	-44.022	721.920	2964.674	0.102E+06
19	-52.985	880.187	3664.085	0.153E+06
20	-81.473	912.473	4852.076	0.262E+06
21	-87.055	805.372	5379.809	0.498E+06
22	-73.728	798.185	5330.982	0.102E+07
23	-91.410	716.698	5185.139	0.216E+07
24	-70.525	671.174	4448.821	0.477E+07
25	-76.818	603.162	3367.039	0.108E+08
26	-25.600	437.951	3623.251	0.118E+08

VARIASI STATIS OFFSET 4% KEDALAMAN ft (0.305 m)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	2025.523	4714.987	0.994E+05
2	43.178	130.303	827.225	0.242E+05
3	-27.058	41.220	1021.593	0.261E+05
4	-25.547	101.052	1570.022	0.281E+05
5	-34.680	139.780	2091.533	0.301E+05
6	-44.242	186.988	2648.768	0.323E+05
7	-52.832	243.179	3212.641	0.345E+05
8	-61.372	302.484	3784.327	0.367E+05
9	-70.781	371.074	4371.126	0.391E+05
10	-79.516	452.446	4935.625	0.415E+05
11	-87.115	542.680	5444.864	0.441E+05
12	-93.871	638.270	5892.329	0.468E+05
13	-99.998	736.741	6272.590	0.498E+05
14	-105.382	834.141	6550.147	0.534E+05
15	-108.965	926.981	6633.565	0.582E+05
16	-107.726	1025.637	6406.860	0.654E+05
17	-98.360	1176.755	5951.393	0.780E+05
18	-88.008	1444.106	5927.900	0.102E+06
19	-105.985	1760.797	7328.862	0.153E+06
20	-163.014	1825.134	9706.668	0.262E+06
21	-174.146	1610.762	10762.062	0.498E+06
22	-147.559	1596.351	10664.299	0.102E+07
23	-182.896	1433.338	10372.081	0.216E+07
24	-141.498	1341.910	8898.843	0.477E+07
25	-154.413	1206.302	6735.188	0.108E+08
26	-51.200	881.382	7251.776	0.118E+08

VARIASI STATIS OFFSET 11% KEDALAMAN ft (0.305 m)

RESPON DAN TEGANGAN PADA T = 2.600 ADALAH:

NO. NODE	DISPLASEMEN	KECEPATAN	PERCEPATAN	TEGANGAN
1	0.000	5580.854	12987.457	0.994E+05
2	119.027	358.885	2275.944	0.242E+05
3	-74.458	113.252	2809.166	0.261E+05
4	-70.249	277.907	4317.595	0.281E+05
5	-95.372	384.395	5751.714	0.301E+05
6	-121.666	514.215	7284.113	0.323E+05
7	-145.287	668.743	8834.764	0.345E+05
8	-168.774	831.833	10406.890	0.367E+05
9	-194.646	1020.451	12020.587	0.391E+05
10	-218.670	1244.226	13572.981	0.415E+05
11	-239.568	1492.372	14973.426	0.441E+05
12	-258.146	1755.246	16204.021	0.468E+05
13	-274.997	2026.029	17249.807	0.498E+05
14	-289.807	2293.840	18013.010	0.534E+05
15	-299.657	2549.080	18241.842	0.582E+05
16	-296.232	2820.353	17617.088	0.654E+05
17	-270.437	3236.098	16363.156	0.780E+05
18	-241.962	3971.758	16299.189	0.102E+06
19	-291.483	4842.929	20155.582	0.153E+06
20	-448.406	5019.446	26697.742	0.262E+06
21	-478.967	4429.625	29599.946	0.498E+06
22	-405.970	4389.934	29330.909	0.102E+07
23	-503.098	3941.578	28526.378	0.216E+07
24	-389.904	3689.487	24473.922	0.477E+07
25	-425.996	3317.290	18523.710	0.108E+08
26	-140.800	2433.391	19951.614	0.118E+08



LAMPIRAN D

FREKUENSI NATURAL

Cipta Karya

Iterasi ke – 1			
0.4778E+01	0.1796E+04	0.5359E+00	0.6501E+02
0.5810E+02	0.8186E+03	0.8617E+00	0.8829E+02
0.8539E+00	0.8398E+03	0.3821E+02	0.5864E+03
0.2141E+01	0.1279E+03	0.1699E+01	0.1066E+03
0.3316E+02	0.7488E+03	0.1779E+01	0.7000E+03
0.2235E+01	0.1494E+03	0.2694E+02	0.6503E+03
0.2537E+01	0.1351E+03	0.2266E+01	0.7826E+03
0.3643E+01	0.1559E+03	0.1415E+02	0.7434E+0
0.3056E+01	0.1433E+03	0.2908E+02	0.7102E+03
0.2896E+01	0.1940E+03	0.2652E+01	0.8282E+03
0.4209E+01	0.6862E+03	0.2138E+02	0.1689E+03
0.3598E+01	0.2480E+03	0.1681E+02	0.7316E+03
0.7411E+01	0.4911E+03	0.1958E+01	0.3984E+03

Iterasi ke – 2			
-0.5488 E+01	0.1993E+04	-0.3233E+00	0.5983E+02
0.5519 E+02	0.1226E+04	-0.4699E+00	0.7776E+02
-0.2719 E-00	0.1080E+04	0.1288E+02	0.4368E+03
-0.1076 E-01	0.2842E+03	0.8788E+01	0.9111E+02
0.4363 E+02	0.1110E+04	-0.1092E+00	0.1104E+04
0.4942 E+02	0.1082E+03	0.3452E+02	0.5360E+03
-0.5902 E-01	0.2439E+03	0.7545E+00	0.5829E+03
0.4739 E+02	0.1221E+03	0.1716E+02	0.1210E+04
0.3233 E+00	0.1433E+03	0.2858E+02	0.6848E+03
0.5989 E+00	0.2544E+03	0.7856E+00	0.1196E+04
0.3094 E+01	0.9717E+03	0.2223E+02	0.1830E+03
0.1970 E+01	0.2181E+03	0.1343E+02	0.8117E+03
0.5560 E+01	0.5697E+03	0.1690E+00	0.3713E+03

Iterasi ke – 3			
-0.5631E+01	0.2002E+04	-0.1932E+00	0.6575E+02
0.5046E+02	0.1361E+04	-0.7293E+00	0.7794E+02
-0.5828E+00	0.8838E+03	0.1018E+02	0.4289E+03
-0.2595E-01	0.3243E+0	0.7777E+01	0.9147E+02
0.4101E+02	0.1431E+03	-0.2817E+00	0.1141E+04
-0.1456E-01	0.1084E+04	0.3396E+02	0.5036E+03
-0.6934E-01	0.2360E+03	0.1089E+01	0.5849E+03
0.3897E+01	0.1271E+03	0.1750E+02	0.1382E+04
0.2809E-01	0.1499E+03	0.2737E+02	0.6834E+03
0.1877E+00	0.2765E+03	0.5166E+00	0.1305E+04
0.2598E+01	0.1173E+04	0.2192E+02	0.1762E+03
0.1535E+01	0.2066E+03	0.1342E+02	0.9747E+03
0.5497E+01	0.7282E+03	0.1295E-01	0.3757E+03

Iterasi ke – 4			
-0.5631E+01	0.2002E+04	-0.2014E+00	0.6570E+02
0.5016E+02	0.1325E+04	-0.7729E+00	0.7824E+02
-0.5705E+00	0.8569E+03	0.1021E+02	0.4338E+03
-0.3031E-01	0.3237E+03	0.7593E+01	0.9196E+02
0.4095E+02	0.1565E+04	-0.3294E+00	0.1083E+04
-0.2109E-01	0.1084E+03	0.3368E+02	0.5063E+03
-0.1032E+00	0.2410E+03	0.8919E+00	0.5879E+03
0.3827E+01	0.1277E+03	0.1728E+02	0.1547E+04
-0.769E-02	0.1501E+03	0.2735E+02	0.6654E+03
0.1348E+00	0.2788E+03	0.4210E+00	0.1401E+04
0.2544E+01	0.1228E+04	0.2190E+02	0.1757E+03
0.1580E+00	0.2055E+03	0.1341E+02	0.9703E+03
0.5487E+01	0.7688E+03	0.8805E-02	0.3751E+03

Iterasi ke – 5			
-0.5633 E+01	0.2002 E+04	-0.2108 E+00	0.6570 E+02
-0.5016 E+02	0.1305 E+04	-0.7732 E+00	0.7824 E+02
-0.5707 E+00	0.8634 E+03	0.1021 E+02	0.4338 E+03
-0.4686 E-01	0.3237 E+03	0.7591 E+01	0.9196 E+02
0.4095 E+02	0.2112 E+04	-0.3305 E+00	0.1096 E+04
-0.1081 E-04	0.1084 E+03	0.3368 E+02	0.5006 E+03
-0.1000 E+00	0.2396 E+03	0.8838 E+00	0.5764 E+03
0.3825 E+01	0.1276 E+03	0.1728 E+02	0.1462 E+04
-0.1106 -E01	0.1500 E+03	0.2735 E+02	0.6612 E+03
0.1335 E+00	0.2788 E+03	0.4152 E+00	0.1398 E+04
0.2540 E+01	0.2120 E+04	0.2190 E+02	0.1758 E+03
0.1577 E+01	0.2054 E+03	0.1341 E+02	0.9703 E+03
0.5487 E+01	0.7557 E+03	0.8247 E-02	0.3751 E+03